



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN LAS
SUSTANCIAS HÚMICAS EN LOS SUELOS DE LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL QUIMSACHATA – INIA PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

FRANKLIN MILLWARD ADUVIRI YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO-PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO
EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS EN LOS
SUELOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENT
AL QUIMSACHATA – INIA PUNO**

AUTOR

FRANKLIN MILLWARD ADUVIRI YUCRA

RECuento de palabras

31452 Words

RECuento de caracteres

163976 Characters

RECuento de páginas

160 Pages

Tamaño del archivo

8.9MB

Fecha de entrega

Apr 25, 2024 8:56 PM GMT-5

Fecha del informe

Apr 25, 2024 8:58 PM GMT-5

● **13% de similitud general**

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


- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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



Sandro Sardón Nina
INGENIERO AGRÓNOMO
CIP. 14207*



M. Sc. Manuel Alfredo Challobuanca
Pariapaza
Sub-Director de la Unidad de Investigación
EPIA

Resumen



DEDICATORIA

*A Dios por haberme dado la
vida, y guiarme durante ese largo
camino.*

*Con cariño a mi apreciada madre,
Paulina Rodríguez de Yucra, por haberme
apoyado y haber estado siempre
alentándome en todo momento a favor de mi
formación personal y profesional.*

Franklin M. Aduviri Yucra



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi gratitud a la Universidad Nacional del Altiplano, específicamente a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por proporcionarme una educación profesional. También, reconozco y agradezco a los docentes por compartir sus conocimientos a lo largo de mi formación académica.

A mi director de tesis M.Sc. Sandro Sardón Nina, por su guía, orientación y asesoramiento incondicional durante la ejecución hasta la culminación del presente proyecto de investigación.

A los miembros del jurado de tesis conformado por: M.Sc. Juan Larico Vera, M.Sc. Valeriano Condori Apaza y M.Sc. Dawes Ramos Alata por todo el apoyo brindado de cada uno de los miembros del jurado.

Al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), proyecto Pro Suelos y Aguas, LABSAF, por facilitarme las instalaciones y brindarme su apoyo en la realización de las actividades de campo y laboratorio del presente proyecto de investigación.

A los ingenieros Jorge Canihua Rojas y Selima Salcedo Mayta, por su apoyo y orientación del presente proyecto de investigación.

A los compañeros investigadores David Jonathan Mamani Nina, Richard Peley Moya Sucari y Christian Alex Ccopacondori Quispe por el apoyo incondicional en campo y trabajo de laboratorio.

Franklin M. Aduviri Yucra



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL 21

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES..... 22

2.2. MARCO TEÓRICO 33

2.2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)..... 33

2.2.2. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS) 34

2.2.2.1. Fuente de energía 35

2.2.2.2. Aumento de la absorción solar 35

2.2.2.3. Reserva de nutrientes 35

2.2.2.4. Suministro de nutrientes..... 36

2.2.2.5. Actividad biológica 36

2.2.2.6. Cementación de partículas y mejoramiento de la estructura..... 36



2.2.2.7. Retención de humedad	36
2.2.2.8. Alteración de las rocas	37
2.2.2.9. Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	37
2.2.2.10. Disminución de la toxicidad.....	37
2.2.2.11. Aumento del poder amortiguador del suelo	37
2.2.2.12. Fijación de carbono en la biósfera (cambio global)	38
2.2.2.13. Efectos indirectos	38
2.2.3. Carbono orgánico del suelo.....	38
2.2.4. Ciclo terrestre del carbono	40
2.2.5. Origen de las sustancias húmicas.....	42
2.2.5.1. Sustancias no húmicas.....	42
2.2.5.2. Sustancias húmicas.....	42
2.2.6. Importancia de las sustancias húmicas.....	43
2.2.7. Fracciones húmicas	45
2.2.7.1. Ácido fúlvico.....	45
2.2.7.2. Ácido húmico	45
2.2.7.3. Las huminas	46
2.2.8. Humus	48
2.2.9. Procesos de humificación.....	49
2.2.10. Caracterización de la MOS	50
2.2.11. Cuantificación del carbono orgánico en el suelo y en las sustancias húmicas	50
2.2.11.1. Método Walkley y Black	51
2.2.12. Captura del carbono orgánico en los suelos.....	51

CAPÍTULO III



MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	53
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	54
3.2.1. Materiales de campo	54
3.2.2. Materiales de laboratorio	54
3.2.3. Equipos.....	54
3.2.4. Reactivos.....	54
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	57
3.4.1. Etapa de gabinete	57
3.4.1.1. Adquisición de los límites de la estación experimental	
Quimsachata - INIA	57
3.4.1.2. Procesado de imagen satelital	57
3.4.1.3. Elaboración de mapas	58
3.4.2. Etapa de campo	63
3.4.2.1. Preparación de materiales	63
3.4.2.2. Fase de traslado hacia las calicatas	63
3.4.2.3. Fase de apertura de calicatas	63
3.4.2.4. Fase de lectura del perfil de suelo	64
3.4.2.5. Fase de muestreo de suelos	64
3.4.3. Etapa de laboratorio	65
3.4.4. Etapa de gabinete (procesamiento e interpretación de datos)	66
3.5. MÉTODOS	66
3.5.1. Métodos para la caracterización de suelos	66
3.5.2. Metodología para la clasificación de suelos según Soil Taxonomy	67



3.5.3. Metodología para la cuantificación de carbono orgánico 68

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**4.1. DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELO SEGÚN EL
REGLAMENTO DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS 69**

4.1.1. Suelo Quimsachata – Ichu (Franco gruesa, Litic Cryorthents)..... 70

4.1.2. Suelo Quimsachata – Típico (Franco gruesa, Typic Cryorthents)..... 72

4.1.3. Suelo Quimsachata - Simple (Franco gruesa, Typic Cryorthents)..... 73

4.1.4. Suelo Quimsachata – Vista (Franco gruesa, Typic Cryorthents) 75

4.1.5. Suelo Quimsachata – Neblina (Franco gruesa, Litic Cryorthents)..... 77

4.1.6. Suelo Quimsachata – Fino (Franco fina, Ustic Haplocryepts)..... 79

4.1.7. Suelo Quimsachata – Santiago (Franco gruesa, Ustic Haplocryepts)..... 80

4.1.8. Suelo Quimsachata - Rojo (Franco gruesa, Ustic Haplocryepts)..... 82

4.1.9. Suelo Quimsachata - Sara Cocha (Franco fina, Thapto-Humic
Haplocryepts) 83

4.1.10. Suelo Quimsachata – Enterrado (Franco gruesa, Thapto-Humic
Haplocryepts) 85

4.1.11. Suelo Quimsachata – Sapo (Franco fina, Ustic Haplocryolls)..... 87

4.1.12. Clasificación de suelos según el Soil Taxonomy 90

**4.2. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL
(COT) DE LAS FRACCIONES HÚMICAS EN LOS DIFERENTES TIPOS
DE SUELOS. 94**

4.1.1. Fórmula para la determinación de COT de las fracciones húmicas. 94

4.1.2. Interpretación de diagrama de boxplot del COT de las fracciones húmicas
..... 96



4.1.3. Interpretación del análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias	97
4.3. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS (ÁCIDO HÚMICO – AH, ÁCIDO FÚLVICO - AF Y HUMINA - Hn) EN LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS (EPIPEDÓN).	101
4.3.1. Análisis de CO en las fracciones húmicas de los órdenes de suelo	101
4.3.2. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción del ácido húmico.....	104
4.3.3. Interpretación de análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias del CO en la fracción del ácido húmico.....	105
4.3.4. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción de ácido fúlvico	107
4.3.5. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción de ácido fúlvico	108
4.3.6. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en las huminas	110
4.3.7. Interpretación de análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias del CO en la fracción de humina	111
V. CONCLUSIONES.....	114
VI. RECOMENDACIONES	115
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	123
ÁREA: Ciencias agrícolas	
TEMA: Manejo y Conservación de Recursos de Agua y Suelo	

FECHA DE SUSTENTACION: 06 de mayo de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fórmulas de análisis de varianza (ANOVA).....	55
Tabla 2. Clasificación de las pendientes del terreno.....	61
Tabla 3. Ensayos requeridos para la caracterización de suelos	67
Tabla 4. Superficie y porcentaje de las consociaciones de suelo.....	70
Tabla 5. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Ichu	71
Tabla 6. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Ichu.....	71
Tabla 7. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Ichu	72
Tabla 8. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Típico.....	72
Tabla 9. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Típico	73
Tabla 10. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Típico.....	73
Tabla 11. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Simple.....	74
Tabla 12. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Simple.....	75
Tabla 13. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Simple.....	75
Tabla 14. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Vista.....	76
Tabla 15. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Vista	76
Tabla 16. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Vista.....	77
Tabla 17. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Neblina.....	77
Tabla 18. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Neblina ...	78
Tabla 19. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Neblina	78
Tabla 20. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Fino	79
Tabla 21. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Fino.....	80
Tabla 22. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Fino.....	80
Tabla 23. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Santiago	81
Tabla 24. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Santiago..	81
Tabla 25. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Santiago	82
Tabla 26. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata - Rojo	82
Tabla 27. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata - Rojo.....	83
Tabla 28. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata - Rojo	83
Tabla 29. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata - Sara Cocha.....	84



Tabla 30. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata - Sara Cocha	84
Tabla 31. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata - Sara Cocha	85
Tabla 32. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Enterrado	86
Tabla 33. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Enterrado	86
Tabla 34. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Enterrado	87
Tabla 35. Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Sapo	88
Tabla 36. Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Sapo	88
Tabla 37. Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Sapo	89
Tabla 38. Clasificación natural de suelos según el Soil Taxonomy	90
Tabla 39. Contenido de carbono orgánico en diferentes órdenes de suelos.	95
Tabla 40. Análisis de ANOVA del contenido de carbono orgánico total (COT).	97
Tabla 41. Comparación de medias TUKEY de carbono orgánico total en tres órdenes de suelo.	98
Tabla 42. Contenido de ácido húmico ácido fúlvico y humina en 3 diferentes órdenes.	103
Tabla 43. Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción del ácido húmico.	105
Tabla 44. Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de ácido húmico en tres órdenes de suelo.	106
Tabla 45. Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción del ácido fúlvico.	108
Tabla 46. Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de ácido fúlvico en tres órdenes de suelo.	109
Tabla 47. Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción de humina.....	111
Tabla 48. Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de humina en tres órdenes de suelo.	112
Tabla 49. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 10	125
Tabla 50. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 04	127
Tabla 51. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 35	129
Tabla 52. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 27	131
Tabla 53. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 08	133
Tabla 54. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 14	135
Tabla 55. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 05	137



Tabla 56. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 37	139
Tabla 57. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 18	141
Tabla 58. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 19	143
Tabla 59. Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 28	145



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de suelo con la atmósfera	40
Figura 2. Mapa de ubicación de la Estación Experimental Quimsachata.....	53
Figura 3. Mapa de distribución de perfiles modales.....	59
Figura 4. Diagrama de boxplot de contenido de COT en los órdenes de suelo.....	96
Figura 5. Diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo del (AH)	104
Figura 6. Diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo de la fracción de ácido fúlvico (AF).....	107
Figura 7. Diagrama de boxplot de contenido de CO de las huminas	110
Figura 8. Mapa geomorfológico	123
Figura 9. Mapa de clasificación de suelo (Soil Taxonomi)	124
Figura 10. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 10) suelo Quimsachata - Ichu	126
Figura 11. Perfil de suelo (calicata 10) suelo Quimsachata - Ichu	126
Figura 12. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 04) suelo Quimsachata - Típico	128
Figura 13. Perfil de suelo (calicata 04) suelo Quimsachata - Típico.....	128
Figura 14. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 35) suelo Quimsachata - Simple	130
Figura 15. Perfil de suelo (calicata 35) suelo Quimsachata - Simple.....	130
Figura 16. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 27) suelo Quimsachata - Vista	132
Figura 17. Perfil de suelo (calicata 27) suelo Quimsachata - Vista.....	132
Figura 18. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 08) suelo Quimsachata - Neblina.....	134
Figura 19. Perfil de suelo (calicata 08) suelo Quimsachata - Neblina.....	134
Figura 20. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 14) suelo Quimsachata - Fino	136
Figura 21. Perfil de suelo (calicata 14) suelo Quimsachata - Fino.....	136



Figura 22. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 05) suelo Quimsachata - Santiago.....	138
Figura 23. Perfil de suelo (calicata 05) suelo Quimsachata - Santiago	138
Figura 24. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 37) suelo Quimsachata - Rojo.....	140
Figura 25. Perfil de suelo (calicata 37) suelo Quimsachata - Rojo	140
Figura 26. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 18) suelo Quimsachata - Sara Cocha	142
Figura 27. Perfil de suelo (calicata 18) suelo Quimsachata - Sara Cocha.....	142
Figura 28. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 19) suelo Quimsachata - Enterrado.....	144
Figura 29. Perfil de suelo (calicata 19) suelo Quimsachata - Enterrado	144
Figura 30. Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 28) suelo Quimsachata - Sapo.....	146
Figura 31. Perfil de suelo (calicata 28) suelo Quimsachata - Sapo	146
Figura 32. Materiales de campo.....	147
Figura 33. Apertura de calicata en la Estación Experimental Quimsachata - INIA ...	147
Figura 34. Descripción de perfil de suelo (lectura de calicata)	148
Figura 35. Extracción de muestras de suelo.	148
Figura 36. Secado de muestras de suelo.	149
Figura 37. Pesado de muestras de suelo.	149
Figura 38. Muestras de suelo para el fraccionamiento de la M.O.	150
Figura 39. Materiales de laboratorio para el fraccionamiento de la M.O.	150
Figura 40. Balanza analítica y reactivos para el fraccionamiento de la M.O.	151
Figura 41. Muestras de suelo pesadas en envases de Erlenmeyer.....	151
Figura 42. Muestras puestas en baño maría por 30 min.	152
Figura 43. Porción de 1 g de Sulfato de sodio (Na_2SO_4).....	152
Figura 44. Equipo de laboratorio – Centrifugadora de 11,000 rpm.....	153
Figura 45. Acidificación de muestras de ácido húmico y ácido fúlvico.....	153
Figura 46. Muestra de ácido húmico y ácido fúlvico – Adición de ácido sulfúrico...	154
Figura 47. Filtración de ácido húmico en el filtro Toyo Roshi N° 5.....	154
Figura 48. Filtrado de muestras después de acidificar.....	155
Figura 49. Recuperación del Acido Húmico – Lavado con Hidróxido de sodio.....	155
Figura 50. Adición de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) para la titulación.	156



Figura 51. Adición de ácido sulfúrico para la titulación.	156
Figura 52. Muestras con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).157	
Figura 53. Titulación de las muestras de ácido húmico, ácido fúlvico y huminas.	157
Figura 54. Lavado de las huminas con agua destilada.....	158



ACRÓNIMOS

AH	: Ácido húmico
AF	: Ácido fúlvico
C	: Carbono
CO	: Carbono orgánico
CIC	: Capacidad de intercambio catiónico
COS	: Carbono orgánico del suelo
CO ₂	: Dióxido de carbono
CH ₄	: Metano
CV	: Coeficiente de valor
C/N	: Relación carbono nitrógeno
Cme	: Cuadrado medio del error
C ₁₂ H ₁₁ N	: Difenilamina
Da	: Densidad aparente
FeSO ₄	: Sulfato ferroso
GPS	: Sistema de posicionamiento global
Gt	: Gigatoneladas
H ⁺	: Hidrogeno
H ₂ SO ₄	: Ácido sulfúrico
Hn	: Humina
K ₂ Cr ₂ O ₇	: Dicromato de potasio
MDE	: Modelo digital de elevación
MOS	: Materia orgánica del suelo
MO	: Materia orgánica
Mg.m ⁻³	: Megagramos por metro cúbico
MgC.ha ⁻¹	: Megagramos de carbono por ha
mg.kg ⁻¹	: miligramos por ha
MOH	: Materia orgánica humificada
N ₂ O	: Óxido nitroso



Na_2SO_4	: Sulfato de sodio
NaOH	: Hidróxido de sodio
Pg C	: Petagramos de carbono
RROO	: Residuos orgánicos



RESUMEN

Para un adecuado manejo de los suelos en las montañas altas del sur de Perú, es necesario conocer las reservas de carbono orgánico dado que este componente ejerce influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En este trabajo de investigación se plantearon los objetivos específicos siguientes: 1) Delimitar las unidades de suelo según el reglamento de levantamiento de suelos, 2) Comparar el contenido de carbono orgánico total de las sustancias húmicas en los diferentes tipos de suelos y 3) Comparar el contenido de carbono orgánico en las sustancias húmicas (ácido húmico - AH, ácido fúlvico - AF y humina - Hum) en los diferentes tipos de suelos (epipedón). La clasificación se llevó a cabo utilizando la taxonomía del suelo, mientras que el fraccionamiento se realizó utilizando el método Kumada. Para el primer objetivo específico, se clasificaron en tres órdenes de suelos como: Entisol (Ichu, Tipico y Simple), Inceptisol (Vista, Neblina, Fino, Santiago, Rojo, Sara Cocha y Enterrado) y Mollisol (Sapo). Seguidamente, para la determinación del contenido de carbono orgánico total (COT) en las sustancias húmicas se realizó comparaciones de medias entre los órdenes de suelos, para ello el orden Mollisol cuenta con más contenido de COT ($25.1 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$), seguida del orden Inceptisol ($12.9 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$) y el orden Entisol ($8.0 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$). En cuanto a las fracciones húmicas, el orden Mollisol cuenta con mayor concertación de CO (AH: $10.5 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$, AF: $6.6 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ y Hn: $8.0 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$), el orden Entisol (AH: $2.6 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$, AF: $2.0 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ y Hn: $2.6 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$), el orden Inceptisol (AH: $5.0 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$, AF: $2.7 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ y Hn: $4.5 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$). Finalmente se concluye que el orden Mollisol cuenta con un contenido de COT y CO en las fracciones húmicas mayores a los demás órdenes de suelo.

Palabras claves: Carbono, Carbono orgánico, Fracciones húmicas, Mollisol, Ordenes.



ABSTRACT

For adequate soil management in the high mountains of southern Peru, it is necessary to know the organic carbon reserves since this component influences the physical and chemical properties of the soil. In this research work, the following specific objectives were raised: 1) Delimit the soil units according to the soil survey regulations, 2) Compare the total organic carbon content of humic substances in the different types of soils and 3) Compare the organic carbon content in humic substances (humic acid - HA, fulvic acid - FA and humin - Hum) in different types of soils (epipedon). Classification was carried out using soil taxonomy, while fractionation was carried out using the Kumada method. For the first specific objective, they were classified into three orders of soils such as: Entisol (Ichu, Tipico and Simple), Inceptisol (Vista, Neblina, Fino, Santiago, Rojo, Sara Cocha and Buried) and Mollisol (Sapo). Next, to determine the total organic carbon (TOC) content in the humic substances, comparisons of means were made between the soil orders; for this, the Mollisol order has the highest TOC content ($25.1 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$), followed of the Inceptisol order ($12.9 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$) and the Entisol order ($8.0 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$). Regarding the humic fractions, the Mollisol order has a greater concentration of CO (HA: $10.5 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, FA: $6.6 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ and Hn: $8.0 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$), the Entisol order (HA: $2.6 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, FA: $2.0 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ and Hn: $2.6 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$), the order Inceptisol (HA: $5.0 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$, FA: $2.7 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ and Hn: $4.5 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$). Finally, it is concluded that the Mollisol order has a higher TOC and CO content in the humic fractions than the other soil orders.

Keywords: Carbon, Organic carbon, Humic fractions, Mollisol, Orders.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico es un regulador de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, es por ello que es necesario realizar un manejo adecuado de suelos mediante los resultados de los parámetros físicos y químicos, que permite conocer el estado actual de los suelos para tomar buenas acciones al momento de utilizar el recurso y conocer los almacenes de carbono orgánico en la Estación Experimental Quimsachata – INIA.

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) se encuentra en los horizontes oscuros del suelo y estos no se saben si son de origen vegetal o animal ya que estos son transformados por los microorganismos y las propiedades físico-químicas del suelo. Además, este es un factor que determina la calidad de los suelos por su alto o bajo contenido de MO (Gallardo, 2016).

Para que haya una concentración de materia orgánica del suelo (MOS) los residuos orgánicos (RROO) tienen que ser integrados en el suelo, los microorganismos, condiciones climáticas y factores fisicoquímicos que ocurren en el suelo transforman la residuos orgánicos (RROO) en materia orgánica del suelo (MOS) a la vez existen dos factores como la temperatura y el contenido de agua que ayudan a mantener el contenido de carbono (C) y su importancia de la MOS radica en la fertilidad de los suelos, la nutrición de las plantas, como fuente de energía, incremento en la absorción solar, reserva y suministro de nutrientes, actividad biológica, mejoramiento de la estructura, retención de humedad, alteración de rocas, incremento en la capacidad de intercambio catiónico y entre otros (Mendoza, 2023).



Por otro lado, se cuenta con las sustancias húmicas que se caracterizan por ser moléculas complejas y amorfas, estas sustancias se dividen en tres como: ácido húmico, ácido fúlvico y humina (Mendoza, 2023).

Estas sustancias mejoran la fertilidad de los suelos de manera indirecta, también la estructura, la permeabilidad y en los niveles de materia orgánica, además pueden mejorar la germinación en las plantas, el uso en aplicación foliar da una protección a las plantas, a su vez estos pueden actuar como componentes recalcitrantes en la formación y estabilización de los agregados (Marínez *et al.*, 2008).

El carbono orgánico del suelo (COS) es parte del ciclo del carbono y un componente fundamental en la MOS, algunos factores que afectan directamente a la descomposición de MOS son los que determina la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) (Burbano, 2018).

1.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar el contenido de carbono orgánico en las sustancias húmicas en los suelos de la Estación Experimental Quimsachata – INIA.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar las unidades de suelos según el reglamento de levantamiento de suelos.
- Comparar el contenido de carbono orgánico total (COT) en las sustancias húmicas de los diferentes tipos de suelos.
- Comparar el contenido de carbono orgánico en las sustancias húmicas (ácido húmico - AH, ácido fúlvico - AF y humina - Hn) en los diferentes órdenes de suelos (epipedón).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Rodriguez (2014), realizó en su tesis del tema de: Almacenamiento de Carbono Orgánico en Suelos de un Sistema Agroforestal (Café y Guaba), en diferentes altitudes del Sector Bolsón Cuchara – Tingo María, realizado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María – Perú. Indica que los resultados que fueron obtenidos gracias a la prueba de T a un 5% de significancia para los parámetros de materia orgánica (MO), stock de carbono orgánico del suelo y la densidad aparente, las cuales fueron evaluadas entre las unidades exploratorias, estadísticamente no hubo diferencia significativa cuando el valor de p-valor es a 0.3344 el cual es referente al porcentaje de contenido de MO entre las dos unidades exploratorias, pero hubo mayor concentración del contenido de MO a 2.29% en los sistemas agroforestales los cuales cuentan con una altitud de 1141 m.s.n.m., versus el contenido de MO de 2.00% del sistema agroforestal que tiene un altitud de 622 m.s.n.m., este comportamiento es relacionado al grado de descomposición de la materia orgánica como la hojarasca, y su posterior incorporación de MO hacia el suelo por los factores climáticos como la temperatura, precipitación y la altitud.

Aguilar (2011), determinó la biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la península de Osa, realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en la Escuela de Ingeniería Forestal en Cartago – Costa Rica. Indica que, de las 80 muestras, existe variación en los resultados, la variación es de 0,71 a 1,38 Mg.cm⁻³, este dato es referente a la sucesión de estadios de sucesión de bosque, la densidad aparente (Da) varía de 0,1 a 1,6 Mg.cm⁻³ en suelos orgánicos, 1.8



Mg.cm⁻³ en suelos arenoso, 2,0 Mg.cm⁻³ en suelos compactados. Los valores promedio de la densidad aparente es mayores en bosques de 15-30 años (1,13 Mg.cm⁻³), los bloques de 30 años (1,02 Mg.cm⁻³), en bosques de 5-15años (0,96 Mg.cm⁻³) y por último el dato más bajo que es en bosques primarios (0.91 Mg.cm⁻³) teniendo en cuenta el coeficiente de variación (CV) de 30,06%, el porcentaje de carbono orgánico (COS %) son altos si son mayores que 2.5%, medios si están entre 1 a 2.5% y bajos si son a 1%.

Martínez *et al.*, (2008), estudiaron el carbono orgánico y propiedades del Suelo, realizado en la Universidad de Chile – Santiago de Chile, indica que los suelos son muy importantes como reservorio de carbono. El uso agrícola de los suelos convencionalmente con uso intensivo del arado, incita a la liberación de carbono hacia la atmósfera mientras que el uso convencional favorece a la captación de carbono orgánico en el suelo, lo favorable del COS es la agregación de suelo y consecuentemente interviene en el espacio poroso del suelo, las cuales afecta las propiedades físicas, también la humedad, la capacidad de aireación y la infiltración de agua. aparte que el COS está formado de sustancias químicas este interviene en las propiedades químicas del suelo el cual aumenta la CIC y la capacidad de tampón sobre sobre la reacción del suelo (pH).

Vinueza (2015), estudió la determinación del contenido de carbono en el suelo en una plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don) implementada en el páramo en la comunidad de Totoras, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo, realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Riobamba – Ecuador. Indica que las características del ecosistema del páramo se observa una definida alteración a simple vista y esto está enfocado a la variación de COS por ton/ha en relación al páramo libre de cobertura forestal. El contenido de COS en los conglomerados C1 y C2 tiene una mayor reserva de COS a 20 cm de profundidad, con 126,59 ton/ha y 104,03 ton/ha respectivamente, y una menor concentración de COS a 30 cm. al realizar la correlación



entre COS – MOS y la densidad aparente indican que el COS no tiene una relación negativa y tampoco inversa con el contenido de la materia orgánica, tampoco con la Da, mucho menos con la profundidad del suelo. Pero el C1 presenta una mayor acumulación de COS de 122,33 ton/ha, pero el C2 el cual presenta 101,54 ton/ha el cual es un incremento de 20.79 ton/ha.

Pari (2021), examinó la evaluación del contenido de carbono orgánico del suelo en la región andina de Bolivia, realizado en la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz – Bolivia. Indica que, en los factores que afectan el almacenamiento de COS, uno de los factores es El uso del suelo y la cobertura vegetal donde hay diferencia significativa de un grupo con respecto a otro grupo donde los valores son más altos, como media superior de 100 ton/ha, seguidamente de los forestales exóticos y pastura nativa los cuales representan una media de 50 ton/ha. Y con respecto a los resultados principalmente el Altiplano de Bolivia presenta condiciones geográficas y climáticas como la altitud, textura del suelo, temperaturas, precipitación y época de lluvia son los factores que favorecen al almacenamiento de COS.

Según Garay (2015), determinó el secuestro de carbono y patrón vertical de propiedades químicas en mollisoles forestados con *Pinus radiata*, realizado en la Universidad Nacional del Sur en Bahía Blanca – Argentina. Indica que los resultados que se obtuvo con el reemplazo de la vegetación natural por rodal de *P. radiata*, con un pH = 4.7, los procesos de acidificación resultan particularmente en los primeros 30 cm del suelo. El suelo mineral bajo tratamiento bosque (TB) incrementa en COT en un 39%. Los resultados confirman que el *Pinus radiata* secuestra el CO₂ atmosférico y lo retiene como MO en diferentes compartimentos de distintos compartimentos del suelo, el piso forestal horizonte O constituyen a una reserva de carbono lábil a corto plazo, el Horizonte O acumuló un promedio de 172 kg/ha-1, bajo los árboles se encontró un aumento de



2.245kg/ha-1 a 0 – 90 cm lo que representa un incremento del orden del 30% respecto de la línea de base, además estos resultados confirman la elevada eficiencia de *Pinus radiata* para el secuestro de CO₂ atmosférico y mantenerlo en forma de MO y concluye que el piso del horizonte O es una de las reservas de C lábil o de corto plazo, pero el COT (Carbono orgánico total) del suelo mineral que se puede quedar por más tiempo en el suelo por la protección que ejercen los minerales.

Según Villegas (2014), estudió en su tesis: variación del carbono orgánico en suelos del altiplano potosino oeste, realizado en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí – México. Indica que los contenidos de C en % y en ton/ha⁻¹ esto se realizó por 3 métodos como son determinación de carbono por ignición, determinación de carbono orgánico oxidable y carbono orgánico total (COT). Las concentraciones medias de CO más altas se obtuvieron por el método de ignición a 5.52%, seguido por el auto analizador (COT) 1.42% y el método de oxidación (Walkley y Black) 1.40% y dándonos que estos últimos no son diferentes ($p > 0.05$). la concentración y almacenamiento del % CO varía según la vegetación y también por el método aplicado de Walkley y Black (COS), por otro lado, la concentración en % y las reservas en ton/ha⁻¹ de carbono no afectó por la topografía, el valor que se obtuvo por el método de auto analizador y Walkley y Black fueron similares a una comparación de 1:1 y en las cuales se obtuvo la correlación $R^2 = 0.46$ el cual nos dice que se puede aplicar los 2 métodos.

Según Herrera (2017), realizó la estimación del contenido de carbono en suelos con diferentes usos en la escuela agrícola panamericana, zamorano, realizado en la Escuela Agrícola Panamericana – Honduras. El estudio realizado a los 60 cm de profundidad el promedio de almacenamiento de COS es de 112 ton/ha⁻¹ para barbecho, de 95 ton/ha⁻¹ para los suelos agrícola y de 145 ton/ha⁻¹ para uso ganadero, el nivel de capacidad de almacenamiento de COS tiene los niveles medio a alto. Como se vio en los



datos el COS se determinó en (ton/ha^{-1}) en la finca estudiada y con el área se calculó el COS de las zonas. Y el resultado de Zamorano cuenta con 10,5682.3 toneladas de COS a una profundidad de 0 – 60 cm. Los tipos de suelo con vocación agrícola presentan un promedio de COS a 60 cm de profundidad de 110 ton/ha^{-1} con barbecho, 95 ton/ha^{-1} para uso agrícola y 145 ton/ha^{-1} para el uso ganadero.

Según Sánchez & Escandón (2016), estimaron el almacenamiento de carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la cuenca del río paute, realizado en la Universidad de Cuenca – Ecuador. Indican que el carbono orgánico del suelo a 10 cm de profundidad se encontró más significancia $P < 0.0001$ en T7 (plantaciones) ($98,29 \pm 16,31$) a diferencia de T1 (plantaciones PL) ($53,96 \pm 12,22$ a). En la relación de pisos altitudinales presentaron diferencias significativas ($p = 0.7063$; $p = 0.0231$, $p = 0.0105$) dándonos el mayor valor en el primer piso altitudinal P1 2800 – 3200 m.s.n.m. El COT está asociado negativamente a la biomasa de los pinos $r = -0.40$; $p = 0.0306$, de acuerdo con estos datos el COT es independiente de la masa aérea, pero en las plantaciones de pinos se relaciona de manera más eficaz y positivamente, el COS se encuentra en mayor cantidad en los sitios de mayor altitud por la presencia de suelos Andosoles que son ricos en materia orgánica y por el factor de bajas temperaturas que impiden la descomposición acelerada de la MO el cual genera la retención del COS por lo contrario en sitios con menor altitud donde los resultados de MO son bajos esto se debe a un alto material parental que poseen.

Fernández (2017), analizó la cuantificación del carbono orgánico acumulado en el suelo de turberas de alto Perú en Cajamarca, realizado en la Universidad Privada del Norte en Cajamarca – Perú. Indica que la cantidad de CO en las tuberosas de Alto Puno Cajamarca varía entre 87.81 Mg/ha^{-1} y $967.84 \text{ Mg/ha}^{-1}$, teniendo un valor promedio de 10 muestras ($417.94 \text{ Mg/ha}^{-1}$) el cual este valor dice que este ecosistema es muy frágil peor



con una capacidad de acumular gran cantidad de COS, por lo que si no tiene una adecuada conservación y gestión de usos de suelos se puede liberar gran cantidad de CO. También se determinó la densidad aparente del suelo de tuberías de Alto Perú teniendo un promedio de 1.054 g/cm^3 y variando entre 0.897 g/cm^3 a 1.264 g/cm^3 , el COA en el suelo varía entre 2.64% a 30.15% teniendo un valor promedio de 13.667%.

Sardon (2019), examinó los factores morfoclimáticos favorables para la preservación del carbono orgánico humificado en suelos de montaña, San Rafael (Perú), realizado en la Universidad Nacional de Colombia. Indica que el rango de variabilidad del COS fue de 1,39%, con un mínimo de 0,28% y un máximo de 2,67% y con un promedio de 1,25% lo que nos indicó que hay una relación de máximos y mínimos de 8,53, es decir nueve veces el mínimo y casi duplica la media. La variabilidad que existen en los diferentes puntos de muestreo condujo al experimento condujo a la dependencia espacial de todas las propiedades químicas disponibles, la gran mayoría de variables son el COS, Zn, Mg, Cu, Fe, K y Ca. Al establecer las comparaciones del contenido de COS en las fracciones húmicas y fúlvicas y el grado de humificación se nos indica que en el Orden Aridisol no tenía los factores para el desarrollo de microorganismos el cual presenta baja cantidad de CO en las fracciones de los AH y AF. En orden Entisol e Inceptisol, el clima, la inclinación y el tipo de cobertura vegetal son factores los cuales determina el contenido mínimo de C en las fracciones húmicas.

Realpe *et al.*, (2014), determinaron el efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia, realizado en la Universidad de Cauca – Colombia. Indican que los suelos cuentan con una baja densidad que esto este asociado con un alto contenido de CO, la cual es la propiedad que incide directamente en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los tres sistemas de uso cuando $R^2 = 0.990^{**}$, en cuanto a la textura este cuenta



con una predominancia de franco arenoso, bajo contenido de arcillas y alto contenido de arena favoreciendo la infiltración de metales pesados como el cadmio. El contenido de alófonos genera una fuerte acidez y más en los suelos con bosque y por el alto aluminio (Al) intercambiable. La calidad de la MO tiene efecto significativo en dichos procesos, en la materia orgánica humificada (MOH) los ácidos húmicos tienen un papel primordial en la retención de Cd, el cual forma enlaces fuertes en los grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención en la fase de adsorción.

Según González *et al.*, (2022), aprendieron de la experiencia mexicana en la Implementación del Modelo RothC-26.3 de la Dinámica del Carbono Orgánico en Suelos: Alcances y Limitaciones. Indica que al usar los datos puntuales a un nivel de parcela que se muestran en los resultados del modelo RothC donde los resultados son imprecisos como el R^2 es 0.5 y dando un patrón que esté asociado al uso de los modelos de COS y se subestimó para los casos pequeños del COS. El Uso del modelo RothC indica que (i) el ajuste del modelo es ligeramente mejor al usar COS inicial de cada punto de muestreo (CIPUN), es difícil modelar los sistemas que están asociados con alguna base de datos de sistema de labranza porque el alcance de RothC y el error son datos analíticos del muestreo del suelo. Por otro lado, RothC mostró la tendencia positiva o negativa del COS bajo diferentes tipos de situaciones de cambio de uso de suelo y sistema de cultivo en los experimentos de corta o media duración. De acuerdo a esto se recomienda utilizar métodos más uniformes en la medición de COS analítico y de muestreo del suelo a fin de evitar los errores en la base de datos y lo que se muestra en los resultados obtenidos es alta incertidumbre.

Velázquez *et al.*, (2022), analizaron la formación de suelos a partir de tepetates: unidades estructurales, carbono orgánico y estabilidad estructural, realizado en Universidad Autónoma del Estado de México. Indica que el estudio realizado con la masa



y el carbono orgánico del tamaño mínimo de las unidades estructurales, se les resto al carbono máximo el valor inicial del tamaño mínimo. Esto se realizó porque el valor de la masa y el carbono de la clase mínima de las unidades no se puede medir, pero solo se puede estimar. Para el caso de los andosoles se utilizó el ajuste estadístico regresión no lineal cuando $R^2 > 0.99$ dándonos una relación de exponente (n). La formación de los suelos por tepetates, posterior a su roturación y habilitación se plantea desarrollar un modelo pedogenético o edáfico el cual afecta a su desempeño de los agentes cementantes al desarrollo y distribución de las unidades estructurales por el modelo de cinética de orden n. este modelo de cinética de las unidades estructurales del suelos y tepetates muestran resultados favorables en las diferentes bases de datos cuando $R^2 > 0.98$ y que solo requiere un parámetro para su definición.

Sanchez (2016), estimó la dinámica del carbono orgánico en suelos de sistemas agroforestales cafeteros en Tibacuy, Cundinamarca, realizado en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Se obtuvo los resultados del COS el cual presentó una alta diferencia significativa, obteniéndose un almacén de COS en el sistema de sombra media, seguido de sombra alta y sombra baja el cual son los siguientes datos correspondientes de $182.1 \pm 35.9 \text{ tonC/ha}^{-1}$; $121.0 \pm 14.4 \text{ tonC/ha}^{-1}$ y $109.9 \pm 21.1 \text{ tonC/ha}^{-1}$, debido a esto el carbono orgánico está altamente relacionado en el porcentaje de sombra debido a la presencia y abundancia de especies arbóreas, en el sistema de sombra media presento mayor almacenamiento relacionado con la corteza muerta en pie y que las raíces permanecen en los tocones y a la vez existe una relación con la edad y la diversidad de especies.

Ayala (2018), analizó el flujo y los almacenes de carbono edáfico en un ecosistema árido del noroeste de México: un enfoque multiescalar, realizado en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Los resultados obtenidos del COS se



nos indica que están incluidos y excedieron los intervalos de valores reportados por Batjes (1996), pero no alcanzaron el máximo calor para Xerosoles (42 a $62 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), los Yermosoles y Xerosoles encontrados en este estudio corresponden a Cambisoles o Calsisoles de las llanuras aluviales, el total de perfiles descritos fueron 16 el cual los resultados obtenidos de campo y de laboratorio se identificó 8 grupos de suelos, 4 unidades geomorfológicas representativas y 3 tres clases de uso de suelos, el uso de las unidades geográficas explica los patrones de almacenamiento y la distribución de las reservas orgánicas e inorgánicas de C.

Izurieta (2019), estudió el mapeo digital de carbono orgánico del suelo mediante imágenes satelitales y algoritmos de autoaprendizaje en el ecosistema herbazal del páramo, Provincia de Chimborazo, Ecuador realizado en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). En la investigación se calibro con un modelo de precisión de carbono orgánico del suelo en un nivel de precisión de 82%, y para tal fin se realizó Random Forest como algoritmo y 9 variables ambientales con información muy valiosa, y se encontró que las variables más determinantes para la cuantificación de COS son: la formación geológica, taxonomía del suelo, precipitación, altura, orientación, factor LS, índice BI, temperatura y temperatura superficial, el área de estudio cuenta con una concentración de COS entre 150 - $205 \text{ Mg}/\text{ha}^{-1}$.

Sánchez (2016), evaluó el contenido de carbono almacenado en diferentes usos del suelo en las micro cuencas Tecomapa, Somotillo y Río Pire, Condega, Nicaragua 2013-2014 realizado en la Universidad Nacional Agraria en Nicaragua. Se obtuvieron diferentes valores que fueron recolectados de la cuenca Tecomapa y Río Pire los cuales son estadísticamente significativo y se obtuvo un bajo contenido de C en la finca del Señor Roberto Pineda con $6.38 \text{ MgC}/\text{ha}^{-1}$ y existe una tendencia mayor en el sistema Quesungual con un valor de $11.03 \text{ MgC}/\text{ha}^{-1}$ el cual es ligeramente mayor de 3% que fue



reportado en el bosque secundario, cuando el potencial de evo transpiración es equivalente a la precipitación anual, el contenido de COS es de 10 MgC/ha^{-1} donde el suelo y el clima empieza a ser cálidos.

Vásquez (2014), determinó el contenido, formas y mecanismos de estabilidad del carbono orgánico en suelos del departamento del Magdalena (Colombia), bajo diferentes tipos de usos del suelo, realizado en la Universidad de Santiago de Compostela – Colombia. Se encontró la acumulación de carbono para los diferentes tipos de suelos como suelos cultivados osciló entre $23,1$ y $78,1 \text{ tC/ha}^{-1}$, para bosques entre $40,9$ y $109,6 \text{ tC/ha}^{-1}$, también existen las formas de Ct y Cox el cual perdió aproximadamente un 16 tC/ha^{-1} , que representan una pérdida de 26% ; y una pérdida de $7,7 \text{ tC/ha}^{-1}$ que representa un $23,3\%$.

Bermeo & Correa (2020), determinaron el carbono orgánico en el suelo andino de Ichubanba y Guargualla, Parroquia Cebadas (Riobamba – Ecuador), indican que los análisis realizados a las 72 muestras de las zonas de Ichubanba y Guargualla existe variabilidad, la cuantificación de carbono orgánico con coberturas de páramo en la zona de Ichubanba el cual tiene un área de 8747.21 ha refleja 2633784.93 t/COT mientras para la zona de Guargualla 8747.21 ha refleja 2496891.09 t/COT . Al analizar el contenido de COS concluyeron que existe diferencia en la materia orgánica y también hay variación en el COS, además reportan que los datos obtenidos de las zonas de Ichubanba y Guargualla son valores altos a una profundidad de $0-30 \text{ cm}$ esto puede ser por factores climáticos como las bajas temperaturas que evitas la rápida descomposición de más MO como así retienen mayor cantidad de COS y que también son ricos en MOS.

Jara (2023), evaluó el impacto del cambio climático sobre el carbono orgánico del suelo en la microcuenca Cojup – Áncash, entre el periodo 2021-2099 (Trujillo – Perú),



las reservas de COS total a una profundidad de 40 cm fluctúan entre 2,3 a 54,3 t/ha⁻¹ con valores medios de 28,8 ± 17,4 t/ha⁻¹. En el análisis estadístico relacionó la variable climática (temperatura del aire) con las reservas de COS, es cual su valor determinado de ajuste es de 0,482 a un nivel de significancia de < 0,05, aceptando la hipótesis alternativa el cual la temperatura del aire explica un 48,2% de que exista una variabilidad de en las reservas de COS.

Contreras *et al.*, (2019), en su artículo evaluaron el carbono acumulado en suelos en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano – Colombia. El análisis estadístico mosto diferencia para P<0.05 en los diferentes tratamientos, el cual menciona que hay un efecto de los sistemas silvopastoriles en la calidad del COS. Los valores que se obtuvieron fueron 60.6 y 65.1 t/ha⁻¹ esto en sistemas de producción ganadera y en los sistemas tradicionales de ganadería sin arboles se obtuvo 38.31 t/ha⁻¹ de C y es de importancia los sistemas silvopastoriles ya que mejoran las propiedades físicas del suelo, la densidad aparente y la resistencia mecánica del suelo, este efecto se vio en los primeros 20 cm de profundidad el cual cuenta con una mayor acumulación de COS los cuales mejoran los niveles de agregación y estructuración de los suelos.

Pineda *et al.*, (2023), en su artículo variación del carbono orgánico en suelo pardo mullido carbonatado mono cultivado con caña de azúcar durante 35 años en Cuba. Mencionan que el manejo convencional del suelo, provoca la perdida gradual de carbono, el cual se manifiesta en los ciclos de reposición, en la preparación para las plantaciones lo que ocasión una disminución de CO, el COS cuenta con un equilibrio este es fuertemente afectado por los primeros ciclos del cultivo, esto implica que a largo plazo no tiene manteniendo por los residuos de las plantas. Esto son los datos para la comparación en diferentes ciclos del cultivo en el sexto retoño 27,94 t/ha⁻¹ y en mayor en la caña el cual alcanzó la cifra de 35,41 t/ha⁻¹.



Vargas *et al.*, (2022), estimaron el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango – México. La mayor cantidad de carbono se obtuvo de la hojarasca seguidamente del horizonte de fermentación. El carbono en menor cantidad se obtuvo en la capa del suelo de 30 a 60 cm, el COS fue altamente variable con valores de 12.3 a 467.5 Mg/ha⁻¹ a una profundidad de 30 cm y 1.9 a 254.1 Mg/ha⁻¹ de los 30 a 60 cm. En los primeros 30 cm con 70% de COS y de 30 a 60 teniendo una clara disminución en el almacenamiento de COS conforme aumenta la profundidad.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)

Según Gallardo (2016), la materia orgánica del suelo (MOS) se refiere al color oscuro que se encuentra en el suelo y que no son separables de la materia inorgánica del suelo y tampoco se puede saber su origen si es vegetal o animal.

Pero los residuos orgánicos (RROO) que se encuentran encima del suelo son excluidos y estos se denominan como mantillo, hojarasca, los que proceden de cosechas y rastrojos y estos no se consideran MOS porque están encima del suelo (Gallardo, 2016).

Para que un RROO sea MOS este debe de estar integrado en el suelo y estos son mezclados por medio del arado y posteriormente se transforman en MOS, pueden afectar ciertas condiciones climáticas, características del suelo, humedad y temperatura para que RROO se transforme en MOS (Gallardo, 2016).

Algunos factores que moderan la desconocían de la MOS los cuales se incluyen la temperatura del suelo y el contenido de agua, estos dos factores



influyen en el almacenamiento del C del suelo ya que tiene un efecto en los microorganismos (Gallardo, 2016).

Sales, (2006), menciona que la MOS contiene mayor cantidad de carbono en la superficie de la tierra, dándonos a entender que el de la atmósfera es dos veces menor, por otro lado, como la MOS está relacionado con casi todos los procesos del suelo, este determina la calidad y la salud del suelo. Materia orgánica (MO) tiene mucha importancia como fuente de nutrientes para las plantas y una fuente de energía para los microorganismos, también se cuenta con funciones tales como biológico, físicos y químicos.

Algunas reacciones de la MOS pueden ser el cambio iónico, complejación de metales, oxidación-reducción, adsorción de compuestos orgánicos naturales, capacidad tampón y xenobióticos (Sales, 2006).

2.2.2. Importancia de la materia orgánica del suelo (MOS)

Gallardo (2016), menciona que desde el siglo XIX se considera que la MOS es un factor muy importante en la agricultura porque este era la base nutricional de las plantas. Se consideraron los estudios de Liebig el cual demostró que los nutrientes inorgánicos son adquiridos a través del suelo, pero cuando escasean estos nutrientes solo se pueden añadir fertilizantes y solo así puede saciar la demanda de nutrientes de las plantas.

La MOS es fundamental para la formación de suelos (edafogénesis o pedogénesis), ya que no interviene en la nutrición vegetal de manera directa, el cual tiene una fuerte incidencia en las propiedades físicas, fisicoquímicas y bioquímicas edáficas del suelo (Gallardo, 2016).



2.2.2.1. Fuente de energía

Gallardo (2016), la MOS captura temporalmente la energía potencial del sol, asimismo este cuenta con una estabilidad biológica el cual permite que la MOS almacene energía potencial y que libera a medida que se descompone (mineralización).

La MOS es teóricamente inestable porque está en una sustancia reductora en un medio de oxidación, pero su estructura posibilita una estabilidad temporal a escala geológica que se debe a la mineralización lenta (Gallardo, 2016).

2.2.2.2. Aumento de la absorción solar

La MOS da el color negro a los suelos lo que ocasiona es la retención de los rayos solares en mayor intensidad y que no haya una reflexión solar, tendrá un mayor calentamiento edáfico gracias a esto, baja la intensidad de las heladas y favorece a la proliferación de los microorganismos (Gallardo, 2016).

2.2.2.3. Reserva de nutrientes

La MOS es más conocido como almacén de bioelementos o nutrientes lo cual se debe a su particular estructura. Se considera un almacén bruto de nutrientes el cual suelta lentamente los bioelementos por la mineralización y en este proceso se libera energía y CO₂ (Gallardo, 2016).



2.2.2.4. Suministro de nutrientes

La MOS actúa como fuente de flujos de bioelemento esto los libera de manera rápida por cesión a través del intercambio iónico, también la liberación puede ser lenta por la mineralización como es el caso del nitrógeno, fósforo, o azufre (Gallardo, 2016).

2.2.2.5. Actividad biológica

Gracias a la energía almacenada y los nutrientes generados por la abundante MOS dan condiciones favorables para la actividad microbiana, si la MOS es alto existirá una mayor cantidad de microorganismos y a la vez aumenta la competencia y la presencia de depredadores lo cual incrementa la biodiversidad en el suelo (Gallardo, 2016).

2.2.2.6. Cementación de partículas y mejoramiento de la estructura

El efecto que tiene la MOS en las propiedades del suelo es la formación de su estructura, esta a su vez actúa directa e indirectamente en la cementación de las partículas inorgánicas y formando agregados (Gallardo, 2016).

2.2.2.7. Retención de humedad

La MOS cuenta con la característica de ser hidrófila esto nos indica que tiene una gran capacidad de retención y absorción de agua, esto procura la retención del agua en los microporos por capilaridad lo que hace más fácil las cosas para la distribución del agua (Gallardo, 2016).



2.2.2.8. Alteración de las rocas

La MOS es ácida, por la liberación de hidrógeno (H^+) capas de hidrolizar los minerales que contiene las rocas, en la descomposición o liberación liberan nutrientes o bioelementos para que el suelo sea rico en minerales y más si hay MOS para la retención (adsorberlos) de estos nutrientes (Gallardo, 2016).

2.2.2.9. Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La estructura que posee la MOS es de tamaño micelar estas cuentan con un tamaño de 2 micras de máximo, con el cual tiene una superficie específica con una capacidad alta de adsorción y que a la vez cuenta con cargas negativas residuales. Por la capacidad de adsorción retiene bioelementos de carga positiva, teniendo en cuenta esto un aumento de MOS cuenta con altos niveles de CIC (Gallardo, 2016).

2.2.2.10. Disminución de la toxicidad

Este es una característica que cuenta las MOS por la capacidad inactivar las moléculas orgánicas tóxicas y también la forma tóxica de los metales pesados (Gallardo, 2016).

2.2.2.11. Aumento del poder amortiguador del suelo

Gracias a la alta CIC y al incremento de microorganismos que son impulsados por la MOS, tienden a resistir de manera más eficaz a cambios y modificaciones en la estabilidad del sistema. Este sistema resiste a tales cambios o incluso puede recuperar el equilibrio inicial y a esto se le denomina resiliencia. Los suelos que son más frágiles cuentan con una



resiliencia baja que por lo contrario que a los suelos que cuentan con alta resiliencia alta. Existen dos tipos de amortiguamiento, fisicoquímico de proviene del CIC y bioquímico que viene de la actividad microbiana (Gallardo, 2016).

2.2.2.12. Fijación de carbono en la biósfera (cambio global)

La MOS contiene una elevada cantidad de carbono (C) entre 45 y 55% y el cual es biestable. Esta bioestabilidad el cual captura el C en el suelo (Gallardo, 2016).

2.2.2.13. Efectos indirectos

La MOS cuenta con otras acciones indirectas, tiene un efecto positivo sobre el balance hídrico, nutrición de plantas y el control sobre la erosión de los suelos (Gallardo, 2016).

2.2.3. Carbono orgánico del suelo

Según Martínez *et al.*, (2008), el carbono orgánico del suelo (COS) es un elemento que se deriva del ciclo del carbono y es el componente que la MOS.

El dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) los dos gases están basados en el carbono, microorganismos foto y quimio autótrofos sintetiza el CO₂ en material orgánico. El material orgánico muerto provenientes de restos vegetales y exudados se incorpora por los microorganismos heterótrofos (fauna). Este proceso de transformación de MO da la mezcla bioquímica compleja (Martínez *et al.*, (2008).



Además, Martínez *et al.*, (2008), mencionan que los suelos donde hay poca o nada de humedad existe la limitancia de producción y descomposición vegetal y se limita la producción de COS y también la temperatura juega un papel fundamental ya que puede bajar el carbono orgánico.

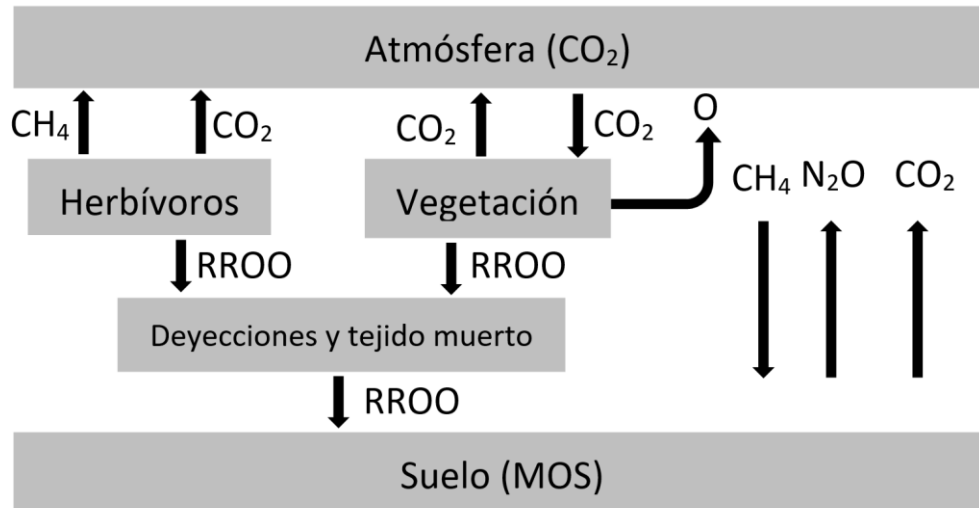
Segura *et al.*, (2005), mencionan que es un sistema de suelo y vegetación el cual cuenta con un aumento o disminución del contenido de CO₂ de la atmósfera el cual depende de la descomposición y formación del COS y por ello es suelo es uno de los reservorios más grandes de carbono (C). por otro es un indicador para evaluar los flujos de gases de invernadero entre la atmósfera y biósfera, se han interesado en la dinámica del COS y ver las alternativas para de captura de C.

Según Reinoso (2020), el COS es la integración de las MO el cual tiene una influencia en las propiedades físicas y químicas como la estructura, porosidad, infiltración, la densidad aparente y el CIC. Además, el COS tiende a rotar por el ciclo del carbono donde ocurren diferentes acciones como la mineralización, la liberación, pérdida y el remplazo por la incorporación de MO o RROO. Existen factores liberadores de C hacia la atmósfera como son la quema agrícola, establecer cultivos comerciales y provocando la disminución de C en los suelos.

2.2.4. Ciclo terrestre del carbono

Figura 1.

Diagrama de flujo de suelo con la atmósfera



Nota: Adaptado del libro *La materia orgánica del suelo*, por (Gallardo, 2016)

En la figura 1, detalla el compartimiento y el flujo del suelo con la atmósfera con los flujos de gases como es el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y el dióxido de carbono (CO₂) (Gallardo, 2016).

En la figura 1, se nos indica que el carbono orgánico del suelo (COS) es uno de los almacenes de interacción con la atmósfera y se considera un aproximado de 1500 Pg C a 1m de profundidad. El carbono orgánico (CO) del suelo se estima cerca de 1700 Pg pero este puede encontrarse de forma más estable como carbonato de calcio, a compasión de la vegetación que contiene 650 Pg y la atmósfera 750 Pg (Gallardo, 2016).

Los flujos del carbono orgánico del suelo con la atmósfera se dan de manera importante y positivo debido a la captura del C o negativo por las emisiones de CO₂.



Según Houghton en 1995 nos indica que el cambio de uso de tierra, la deforestación, el el crecimiento continuo de los pastoreos y las tierras cultivadas corresponden a 140 Pg entre los años 1850 y 1990, se tenía una liberación de carbono hacia la atmósfera de 25Pg (Gallardo, 2016).

Cabe destacar que el ciclo terrestre del carbono es muy sencillo de entender ya que en primera parte se tiene a la vegetación almacena el CO₂ en los tallos y en otras estructuras vegetales y a la vez libera oxígeno, por otro lado, se encuentran los herbívoros que liberan metano y CO₂ (Gallardo, 2016).

Teniendo en cuenta esto la materia orgánica que se encuentra en los suelos puede ser de origen vegetal o animal denominándose residuos orgánicos (RROO) como se aprecia en la figura 1 el cual se incorpora al suelo dando un almacén de MOS el cual contiene COS (Gallardo, 2016).

Según Reinoso (2020), menciona que el CO₂ está presente en la atmósfera en un 71,5% de los gases de efecto invernadero, las plantas que son un sistema almacenan el carbono (C) en la biomasa aérea por medio de la fotosíntesis, y posteriormente pueden llevarlo o almacenarlo en el suelo en formato de mantillo o hojarasca al cual este proceso se le denomina descomposición de RROO el cual contribuye al almacén de carbono del suelo.

Además, que el intercambio de carbono entre el suelo y la atmósfera es de forma natural por medio de la fotosíntesis y la respiración, así como la generación de los gases antropogénicos. Es carbono circula a través de la materia orgánica y el ambiente fisicoquímico, además en la atmósfera ocurre la unión del carbono con el oxígeno dándonos un compuesto de dióxido de carbono (CO₂) este gas más el vapor de agua son necesarios para la regulación de la temperatura del planeta.



El metano (CH_4) dicho gas es natural y es parte del ciclo del carbono este se concentra en mayor abundancia en la atmósfera. Este gas se origina por la fermentación de la MO en condiciones anaeróbicas y tiene la capacidad de adsorber la radiación infrarroja 20 veces más que el CO_2 (Reinoso, 2020).

2.2.5. Origen de las sustancias húmicas

Según Camargo & Cruz (1999), indican que el termino de “humus” es utilizado como sinónimo para la materia orgánica del suelo (MOS) y esto hace un gran porcentaje de 60% y 90% simbolizando el carbono total, esto ocasionó que se dividiera en sustancias húmicas y no húmicas.

2.2.5.1. Sustancias no húmicas

Estas se constituyen por compuestos orgánicos químicamente definidos tales como los carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas, pigmentos y en total la materia orgánica soluble en agua esto representaría el 30% de las sustancias no húmicas (Camargo & Cruz, 1999).

2.2.5.2. Sustancias húmicas

Según Velarde, (2017), menciona que las sustancias húmicas se caracterizan por ser moléculas complejas amorfas y de color negro o café oscuro, tiene un peso molecular alto, son de carácter coloidal, cuenta con la capacidad de adsorción y desorción iónica y son hidrofílicas.

López *et al.*, (2018), definen a las sustancias húmicas como “humus” a la acumulación de materia orgánica en los suelos, también nos da a entender que es una de las reservas de carbono, cuenta con una biodegradación muy lenta (miles de años) y este también afecta a la



fertilidad de los suelos, estas sustancias húmicas son de color oscuro tiene una composición heterogénea y biomolecular no húmica que son de origen vegetal y microbiano.

Camargo (1999), menciona que es el conjunto de componentes muertos del suelo y es a su vez una fracción más representativa y de forma más estable del carbono esto pueden llegar hasta 90% del carbono total en suelos con gran cantidad de materia orgánica, estas sustancias húmicas pueden llegar a estar compuestas de polímeros condensados en función de los compuestos aromáticos y alifáticos que son producidos por la transformación de la lignina de las plantas.

2.2.6. Importancia de las sustancias húmicas

Ramos (2000), indica que las sustancias húmicas se están empleando para la mejora de la fertilidad de suelos tales como la estructura del suelo, permeabilidad y los niveles de materia orgánica.

Algunos suelos son bajos en materia orgánica y tiende a disminuir aún más por la mineralización, la utilización de fertilizantes químicos y las malas labores agrícolas. La disminución de la MOS nos da un efecto de deterioro de los suelos (perdida de las propiedades físico – químicas y un incremento en la erosión) (Ramos, 2000).

Los efectos que tiene en las plantas es la mejora en la germinación de las semillas, aparte en la aplicación foliar tiende darse un efecto de bioprotector sobre las plántulas, y también estimula a la absorción de P (fósforo) (Ramos, 2000).



Veobides *et al.*, (2018), llegaron a la conclusión que estas sustancias son caracterizadas por su estructura compleja, teniendo una gran cantidad de grupos funcionales y también cuentan con algunas moléculas heterogéneas los cuales generan uniones débiles y esto genera una gran variedad de funciones beneficiosas, cuenta con el potencial para el incremento de los rendimientos y aminorar los efectos de estrés de un medio ambiente y su fuente de origen es la MOS.

Teniendo en cuenta las propiedades de las sustancias húmicas, pueden mantener algunos mecanismos como la actividad like-auxine (crecimiento de las plantas por la acción de los ácidos húmicos - AH) para dar a entender sobre los efectos de los bioestimulantes. Además, que tiene una significativa acción sobre los metabolismos secundarios, con la estimulación de los compuestos antioxidantes se puede interpretar que este podría ser una alternativa viable eludir las consecuencias del cambio climático y usar productos naturales que sea amigables con el medio ambiente (Veobides *et al.*, (2018).

Sardon (2019), menciona la importancia de las sustancias húmicas como un componente recalcitrante en la formación y estabilización de los agregados, capacidad buffer y la capacidad de intercambio catiónico para la mejora del suelo de forma indirecta, adsorción de pesticidas, quelación de iones metálicos en movilización o inmovilización, alteración y descomposición de los minerales primarios y secundarios para la absorción de estos.



2.2.7. Fracciones húmicas

2.2.7.1. Ácido fúlvico

Montoya *et al.*, (2013), mencionan que esta fracción se puede diluir en medios alcalino y ácidos, a su vez es la parte más pequeña de las sustancias húmicas esto se debe a la abundancia de los grupos carboxilos e hidroxilos (son muy reactivos químicamente) debido a que son pequeños estos pueden ser absorbidos por las plantas.

Cerisola (2015), menciona que está compuesta de compuestos sólidos y semisólidos, que no tiene forma (amorfo) de un color amarillento que es característico de esta fracción, su naturaleza es coloidal, se dispersa en el agua fácilmente y no precipitable por los ácidos, es muy susceptible a la floculación por el tipo de pH y cuenta con soluciones de cationes no alcalinos en mayor cantidad.

2.2.7.2. Ácido húmico

Montoya *et al.*, (2013), indican que la solución si puede disolverse en medios alcalinos, pero no en soluciones ácidas, su estructura es flexible y ramificada, cuenta con ciertas cavidades internas para la absorción de agua, el 35% de sus moléculas son ácidos y de estructura de carácter aromático, el 65 % está constituida de cadenas alifáticas

Cerisola (2015), indica que estos son sólidos de color marrón oscuro y son amorfos, estos no son soluble en agua y entre otros disolventes no polares, pero si puede dispersarse en soluciones acuosas de hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos.



Su estructura es constituida de un núcleo de naturaleza aromáticos más o menos condensado y una región cortical con más predominio de radicales alifáticos el cual tiene un conjunto de carácter heteropolímeros condensados (Montoya *et al.*, 2013).

2.2.7.3. Las huminas

Montoya *et al.*, (2013), mencionan que esta sustancia no es soluble en soluciones alcalinas y acidas. Esta también se caracteriza por ser resistente a la descomposición, tiene la capacidad de retención de humedad, formación de estructuras y estabilidad en el suelo y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Cerisola (2015), menciona que las huminas son sustancias diferentes entre sí de acuerdo a su origen el cual es de herencia y la neoformación.

Las huminas heredadas tiene una densidad de partícula menor a 1,8 Mg/cm³, esta se puede encontrar en suelos donde existe una vegetación de difícil biodegradación. Esta huminas heredada esta ligeramente ligada a la fracción arcilla mediante los enlaces lábiles los cuales son resistentes en la agitación mecánica clásica pero no de la ultrasónica porque es la forma por la que se extrae.

Las huminas de neoformación son las huminas de insolubilización extraíbles, esta puede ser similar a los ácidos húmicos y fúlvicos, pero estos están más asociados a enlaces de fracción mineral que pueden ser destruidos por agentes químicos los cuales rompen los enlaces de los silicatos que se encuentran en laboratorio, y es así como se obtiene



la humina que esta adherida al hierro y la humina unida a la arcilla y al finalizar este proceso se obtiene un residuo que es conocido como humina de insolubilización no extraíble (Cerisola, 2015).

Camargo *et al.*, (1999), mencionan las siguientes características:

Los ácidos fúlvicos se caracterizan por el color amarillo o amarillo pardusco, su composición es de C (43,6%), H (4,9%), N (1,7%), O (49,8%) su peso molecular es 500 a 2000 g/mol, la acides total de 640 a 1420 meq/100g, predominancia de compuestos alifáticos sobre los núcleos aromáticos, tiene una mayor movilidad y agresividad (contiene más ácidos orgánicos y compuesto fenólicos), su composición está dominada por los aminoácidos, tánicos y urónicos, su capacidad de intercambio catiónico es 700 meq/100g AF y estos son solubles en alcohol, ácidos minerales y agua (Camargo *et al.*, 1999).

Los ácidos húmicos están compuestos de los siguientes elementos C (51,7%), H (5,1%), N (2,9%), O (40,3%) teniendo un peso molecular de 50.000-100.000 g/mol, teniendo su capacidad de intercambio catiónico de 350-500 meq/100 g AH, la proporción de los grupos hidrófobos y grupos hidrófilos los cuales caracterizan el comportamiento a la solubilidad de este, también cuentan núcleos aromáticos tales como de los fenoles, ácidos benzocarboxílicos, ácidos furánicos, ácidos benzoicos y quinosas (Camargo *et al.*, 1999).

Las huminas se caracterizan por ser la fracción más estable, su peso molecular es alto (mayor de 100.000 g/mol), su composición química es C



(55,9%), H (5,9%), N (0,9%), O (37,3%) y no cuenta con un extraíble con diluyentes clásicos (Camargo *et al.*, 1999).

Cerisola (2015), menciona que las características comunes de las sentencias húmicas es la coloración de color oscuro, cuenta con polímeros tridimensionales de muy alto peso molecular, estas sustancias se caracterizan por ser ácidos, a su vez cuentan con grupos funcionales como núcleo están los grupos aromáticos nitrogenados y grupos bencénicos aromáticos, los grupos reactivos el cual se hace responsable de la importancia de la materia orgánica, los puentes de unión tales como nitrilo, cetónicos y aminos, y por ultimo las cadenas alifáticas.

2.2.8. Humus

Cerisola (2015), menciona que es la descomposición de los restos orgánicos (RROO) que son ricos en celulosa y lignina, es la fracción más compleja de la materia orgánica del suelo (MOS) lo que incluye es la descomposición biológica avanzada de los restos orgánicos y la síntesis de productos por los microorganismos.

El humus también está en constante transformación y cuenta con una naturaleza coloidal, también cuenta con un elevado peso molecular, es relativamente estable y químicamente específica (Cerisola, 2015).

El final de la todos los compuestos orgánicos es la mineralización por lo tanto su destrucción, alguno de los compuestos es tan estables como para que pertenezca en el suelo. Los compuestos húmicos duración de cientos de miles de años, estos no se definen por su composición determinada, pero si se establecen frente a diferentes reactivos. El humus cuando se trata con reactivos extractaste se



separan en fracciones (Fracción Húmica, Ácido Húmico y Ácido Fúlvico), estas fracciones cuentan con la entidad química específica porque varían las proporciones de estas (Cerisola, 2015).

2.2.9. Procesos de humificación

Cerisola (2015), indica en su libro que la humificación tiene reacciones bioquímicas de polimerización y resíntesis y esto a la vez fija el dinitrógeno (N_2), la formación de aminoácidos y péptidos dan origen los ácidos húmicos. Las macromoléculas que son difíciles de descomponer tales como la lignina, ceras, taninos estos aportan los anillos aromáticos que forman las bases estructurales de las macromoléculas húmicas. De acuerdo con su “estabilidad relativa” estos pueden sufrir una mineralización secundaria por acción de los microorganismos y este proceso es lento con la liberación de productos simples y la humificación es la responsable de la acumulación de la materia orgánica en los suelos.

Además, Cerisola (2015), menciona que existen dos escuelas que explican este proceso: La Escuela lignista menciona que es una degradación incompleta de la lignina y después ocurre la polimerización. La Escuela polifenolista indica que la degradación microbiana de todos los residuos orgánicos (RROO) y una posterior resíntesis y policondensación.

Silva (2005), menciona que es la bioquímica de la formación de las sustancias húmicas, aspecto que no se entiende en la química de humus. Teniendo en cuenta este aspecto y como es la formación de las sustancias húmicas esto provocaría varias claves valiosas acerca de las estructuras y por ende saber los caminos por donde son verificados la síntesis del humus esto nos daría un amplio vistazo hacia el ciclo del carbono y de los cambios que ocurren con los residuos



de las plantas y los desechos orgánico que son biodegradados por los microorganismos del suelo.

2.2.10. Caracterización de la MOS

Jaramillo, (2011), indica que la MOS es muy importante gracias a la actividad físico-química y biológica que genera, desde el punto de vista físico está formado de dos componentes básicos tales como una fracción liviana y una fracción pesada.

La fracción liviana esta no está definida por los minerales del suelo y por eso es una materia orgánica poco transformada, la relación C/N tendría valores de 12 % y 39 % con una densidad de 2 Mg.m⁻³ el cual constituye el 30% de la MOS (Jaramillo, 2011).

La fracción pesada esta hace referencia a la incorporación de materia orgánica en los suelos o órgano-mineral del suelo y está fuertemente transformada, la relación C/N es menor y cuenta con una densidad de 30 a 50% de MOS (Jaramillo, 2011).

2.2.11. Cuantificación del carbono orgánico en el suelo y en las sustancias

húmicas

González *et al.*, (2007), mencionan lo importante saber la cuantificación de carbono orgánico para la fertilidad, esto además influye a diversas propiedades del suelo, existen varios procedimientos para la determinación de CO, las técnicas muy utilizadas son espectrofotometría y la volumetría, las muestras de suelo se trata con un volumen predeterminado, con una solución de dicromato de potasio el cual actúa como el agente oxidante en el medio fuertemente ácido.



2.2.11.1. Método Walkley y Black

Según Carreira (2004), indica que es la oxidación de las muestras de suelo con la solución de dicromato de potasio y utilizando el calor que es producido por el ácido sulfúrico, la valorización se realizó por retroceso de la cantidad de dicromato de potasio que no es reducido por la MO, se utiliza la solución de sulfato ferroso como indicador difenilamina y también se determinó por colorimetría el cual el color verde es un cuantificador crómico reducido es cual es la reacción de la materia orgánica.

2.2.12. Captura del carbono orgánico en los suelos

Martínez *et al.*, (2008), mencionan en su trabajo que es un proceso general que ocurre en los sistemas terrestres, es un proceso de retención y emisión del carbono el cual se conforma de tres reservorios como la vegetación, materia en descomposición y el suelo.

El proceso de transformación es el almacenamiento del carbono en la biomasa vegetal y animal, y en los suelos es generador por la fotosíntesis y la respiración, se tiene en cuenta las características del ecosistema para el almacenamiento del carbono como la temperatura, humedad y pH (Martínez *et al.*, 2008).

Según la FAO, (2002), el suelo tiene un contenido de 2344 Gt (gigatoneladas) de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres lo cual es un factor para la regulación de concentración de carbono orgánico atmosférico, estudios demuestran que varían la cantidad de carbono que existe en el suelo esto es asociado a las prácticas del manejo de los cultivos y a las condiciones climáticas



el cual es un reto para el buen manejo de los suelos y potencializar la captura de carbono.

El carbono que se encuentra en el suelo está estrechamente asociado a los cambios en el uso del suelo y tener buenas prácticas de manejo y mantenimiento, el recurso puede presentar menor o mayor captura de carbono, de las diferentes formas que existen para la captura de capturar el carbono este puede aumentar la producción de alimentos y asegurando el uso sostenible de recursos como el agua y suelo, existe un balance entre las entradas y salidas de carbono por el tipo de cobertura vegetal (FAO, 2002).

CAPÍTULO III

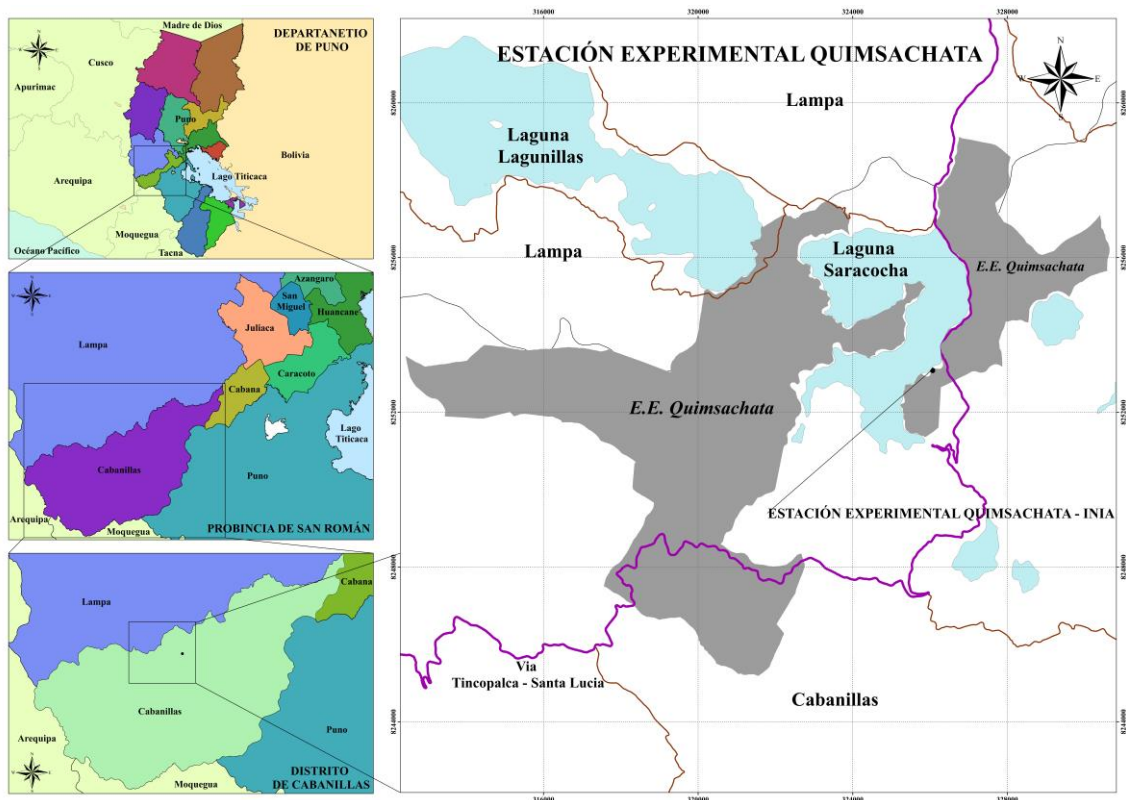
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Cabanillas de la provincia de San Román en el departamento de Puno, Perú. Esta área abarca una extensión de 6272.00 ha., localizadas entre las coordenadas: Extremo inferior-derecho es de $15^{\circ} 48' 29.712''$ S y $70^{\circ} 37' 20.988''$ O; y la del extremo superior-izquierdo es de $15^{\circ} 45' 28.709''$ S y $70^{\circ} 39' 32.575''$ O a una altitud de 4300 m.s.n.m.

Figura 2.

Mapa de ubicación de la Estación Experimental Quimsachata



Nota: Elaboración propia



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales de campo

Los materiales utilizados en campo fueron el pico, pala, barreta, cinta métrica, flexómetro, picota, plumón indeleble, plumón acrílico, hojas para la descripción del perfil, tablero de campo, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), mapa de distribución de calicatas, recipiente de ácido clorhídrico, bolsas para el muestreo de suelo, botellita para ácido clorhídrico y guía para la descripción de suelos.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Los materiales siguientes se utilizaron en laboratorio como matraz de Erlenmeyer 250ml, matraz de Erlenmeyer 125ml, pipeta, tubos de 50ml, piseta, pipeta volumétrica, embudos de vidrio, papel filtro, libreta de laboratorio, espátula, plumón indeleble, bureta, papel filtro (Whatman N°42, Toyo Roshi 5C), bagueta de agitación, bandeja metálica, propipeta, espátula, papel aluminio y hielo.

3.2.3. Equipos

Los equipos utilizados fueron la centrifuga, estufa, propipeta, balanza analítica, agitador magnético y soporte para bureta

3.2.4. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄)
- Sulfato de sodio (Na₂SO₄)

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Sulfato ferroso ($FeSO_4$)
- Difenilamina ($C_{12}H_{11}N$)
- Agua destilada

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un enfoque no experimental, porque no varían los datos obtenidos intencionalmente por tanto no se cuentan con variables experimentales, descriptivo y transversal en el tiempo. El carbono orgánico total de las sustancias húmicas se realizó la comparación en los diferentes tipos de suelos, para ello se usó el análisis estadístico de ANOVA y con una prueba de medias de Tukey al $p < 0.05$.

Tabla 1.

Fórmulas de análisis de varianza (ANOVA).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Factor	$k - 1$	$SS_F = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	$MSE_F = \frac{SS_F}{N - k}$	$F = \frac{MSE_F}{MSE_E}$
Error	$N - k$	$SS_E = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$	$MSE_E = \frac{SS_E}{N - k}$	
Total	$N - 1$	$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{Y})^2$		

Fuente: (Córdova, 2008)

Donde:

n_i : es el tamaño de muestra i.



N: el total de observaciones.

k: en numero de grupos diferentes del análisis de varianza.

y_{ij} : es el valor de j del grupo i.

\bar{Y}_i : media del grupo i.

\bar{Y} : media de todos los datos analizados.

Fórmulas de Tukey

Prueba de Tukey cuenta con un nivel de significancia al 0.05 en los diferentes órdenes de suelos.

$$VC_T = q_{\alpha.(c.n-c)} * \sqrt{\frac{CMe}{r}}$$

Donde:

VC: es el valor critico de la prueba

CMe: Cuadrado medio del error (CMD)

q: valor de significancia

c: número de grupos

n: número de datos

r: número de repeticiones



3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se utilizó cuatro etapas, A) Etapa de gabinete, B) Etapa de campo, C) Etapa de laboratorio y D) Etapa de gabinete (procesamiento e interpretación de datos).

3.4.1. Etapa de gabinete

Esta etapa consistió en cuatro fases a) Adquisición de los límites de la estación experimental Quimsachata - INIA, b) Procesado de imagen satelital, c) Elaboración de mapas y d) Distribución de calicatas.

3.4.1.1. Adquisición de los límites de la estación experimental

Quimsachata - INIA

Esta fase se centró en la adquisición del límite de la estación experimental Quimsachata – INIA esta información se puede adquirir de estudios que fueron realizados en el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA dicha información fue otorgado por el INIA.

3.4.1.2. Procesado de imagen satelital

La fase de procesado de imágenes satelitales consistió en la descarga de la información del geo-servidor CBERS4A, luego se hizo la combinación de bandas multiespectrales y se llevó a cabo la mejora de la imagen satelital con la banda pancromática que tiene una resolución espacial de 2m, esta imagen nos ayudará a reconocer algunas formas de terreno, poder diferenciar los tipos de pendientes, identificar las zonas para poder acceder a las calicatas y diferenciar algunas zonas de interés para el estudio.



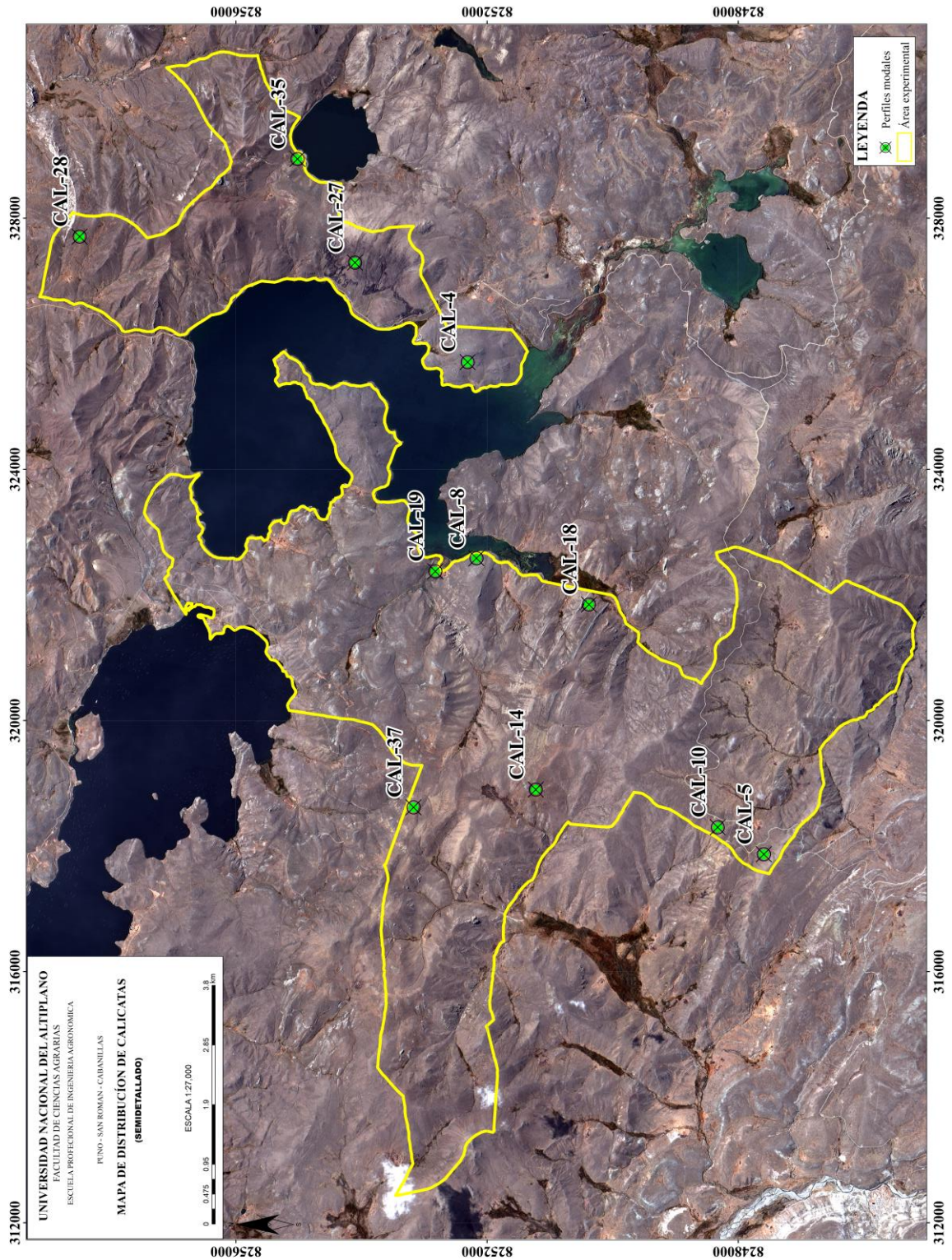
3.4.1.3. Elaboración de mapas

Mapa de ubicación

Para realizar el mapa de ubicación se utilizó el límite del área de la estación experimental Quimsachata y también la imagen satelital georreferenciada, este mapa de ubicación del área de estudio tiene el fin de analizar el terreno, y poder trazar las zonas por donde se puede acceder más fácilmente, el mapa cuenta con la ubicación nacional, ubicación departamental y ubicación provincial y distrital.

Figura 3.

Mapa de distribución de perfiles modales



Nota: Elaboración propia



Mapa de ubicación

Para realizar el mapa de ubicación se utilizó el límite del área de la estación experimental Quimsachata y también la imagen satelital georreferenciada, este mapa de ubicación del área de estudio tiene el fin de analizar el terreno, y poder trazar las zonas por donde se puede acceder más fácilmente, el mapa cuenta con la ubicación nacional.

Mapa de pendientes

Para realizar el mapa de pendientes se tuvo que descargar el MDE (Modelo Digital de Elevación) de la zona, después de procesar el MDE se obtuvo pendientes en pixeles, por esto se optó a mejorar las pendientes con la imagen satelital, esto se logró básicamente en ver la imagen y diferenciar las formas de terreno el cual facilitó en gran medida la mejora de la pendiente para que será real al terreno descrito en campo en las fichas campo.

Tabla 2.

Clasificación de las pendientes del terreno.

Símbolo	Rangos (%)	Denominación
A	0-2	Plana o casi nivel
B	2-4	Ligeramente inclinada
C	4-8	Moderadamente inclinada
D	8-15	Fuertemente inclinada
E	15-25	Moderadamente inclinada
F	25-50	Empinada
G	50-75	Muy empinada
H	> 75	Extremadamente empinada

Nota: D.S. N° 005-2022-MIDAGRI.

Mapa de pendientes

Para realizar el mapa de pendientes se tuvo que descargar el MDE (Modelo Digital de Elevación) de la zona, después de procesar el MDE se obtuvo pendientes en píxeles, por esto se optó a mejorar las pendientes con la imagen satelital, esto se logró básicamente en ver la imagen y diferenciar las formas de terreno el cual facilitó en gran medida la mejora de la pendiente, para la clasificación de las pendientes se tomó en cuenta la clasificación del D.S. N° 005-2022-MIDAGRI.

Mapa geológico

El mapa geológico se elaboró a partir de la litología, dicha información se obtuvo en el geo-servidor del GEOCATMIN, esta información se cortó en base a el contorno del área. Este mapa tiene la



función de dar una orientación en campo y también nos permite saber el tipo de litología que se encuentran en las superficies del terreno, o que este cubierto por el suelo y la vegetación, se obtuvo la siguiente litología a) Depósito aluvial, b) Depósito coluvio-aluvial, c) Toba blanca de cristales, d) Lutitas, e) Diorita, f) Andesita, g) Areniscas cuarzosas grises, h) Calizas, i) Conglomerados con clastos de ortocuarzitas, j) Conglomerados polimicticos y k) Depósito coluvial.

Mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico se basó según Zinck, (1987) tomando en cuenta el paisaje del terreno: llanura, colina y montaña. El modelado consistió si es denudacional que sería el proceso de desgaste de la superficie del terreno y depositacional ocurren en las llanuras, la forma del terreno se consideró si es cima o ladera, mientras tanto, la simbología se tomó en cuenta el paisaje, la litología, el modelado, la forma del terreno y la pendiente.

Distribución de calicatas

En la distribución de las calicatas se realizó según el decreto supremo 013-2010-AG, el artículo 16° menciona los niveles de levantamiento de suelos (MINAGRI, 2010). Para el trabajo de campo se optó por el nivel de semidetallado o de tercer orden, según al artículo 19° que menciona el procedimiento de campo el cual indica “se utilizará el área muestra, que será como mínimo el 30% de la superficie total, que represente la variabilidad edáfica del área de estudio”, y según los cálculos se obtuvo 38 calicatas.



Para la distribución de las calicatas se tuvo en cuenta el mapa geomorfológico también algunas de las formas que se identificaron en la imagen satelital como las partes llanas y también las laderas.

3.4.2. Etapa de campo

Esta etapa consistió en cinco fases a) Preparación de materiales, b) Fase de traslado hacia las calicatas, c) Fase de apertura de calicatas, d) Fase de lectura del perfil de suelo y e) Fase de muestreo de suelos.

3.4.2.1. Preparación de materiales

Esta fase consistió en alistar los materiales necesarios para la salida de campo como los picos, palas y las barretas, también las bolsas para el muestro, plumones acrílicos, plumones indelebles, lápices, tablero, etc.

3.4.2.2. Fase de traslado hacia las calicatas

Se programó cuantas calicatas se abrirán el mismo día, una vez decidida por cual calicata empezar y por cuales calicatas seguir, lo primero fue ubicar la calicata en el GPS, y trazar una ruta por donde se puede llegar más fácilmente a la calicata con la ayuda del mapa también se pudo hacer una referencia del terreno.

3.4.2.3. Fase de apertura de calicatas

En la apertura de una calicata se tuvo que tener en cuenta la dirección del sol para que el perfil se note claramente, las medidas a tener en cuenta fueron de 1.50 m de largo x 1.00 m de ancho x 1.20 m de



profundidad teniendo una forma rectangular, al término de la apertura se hace la perfilada de una de las caras de la calicata que se decidió realizar lectura.

3.4.2.4. Fase de lectura del perfil de suelo

Una vez terminado la apertura de la calicata inmediatamente se realizó la descripción general del área, como relieve, micro relieve, drenaje, erosión, pendiente y la verificación del mapa de pendientes, material parental, vegetación, etc., así como, las características morfológicas del perfil del suelo, las cuales incluyen la identificación de horizontes de diagnóstico, describiendo el espesor, color, textura, estructura, consistencia, profundidad efectiva, fragmentos rocosos, concreciones, moteaduras, densidad aparente y nivel freático y finalmente, se anotarán datos relacionados al uso de la tierra, manejo y conservación de suelos, prácticas culturales y también se validó el mapa geomorfológico en campo.

3.4.2.5. Fase de muestreo de suelos

El muestreo consistió en la extracción de muestra de suelo en bolsas de plástico que previamente fueron codificados con el numero de la calicata y el número de horizonte, en la extracción de las muestras se inició del último horizonte para así no contaminar las siguientes muestras, para ello, se recolectó un total de 1kg de muestra aproximadamente por cada horizonte y también se tomó 1kg de suelos para la caracterización de la materia orgánica del suelo.



3.4.3. Etapa de laboratorio

Las muestras de suelo fueron remitidos al Laboratorio de Suelos de INIA Salcedo, en donde se efectuó el análisis denominado de caracterización, que consistió en determinar las propiedades físicas: la clase textural (contenido de arena, limo y arcilla) y densidad aparente. Las propiedades químicas y fisicoquímicas que se determinaron fueron: pH, conductividad eléctrica, carbonatos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio disponibles y propiedades de sorción capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+).

Para la extracción y fraccionamiento de la materia orgánica del suelo se realizó por el método Nagoya, descrito por Kumada (1987). Las muestras de suelos se secaron al aire libre y se tamizarán. El fraccionamiento de la MOS se realizó mediante una extracción de una sola solución básica 0.1N de NaOH. Seguidamente se hirvió a 100°C durante 30 min, agitando el Erlenmeyer varias veces. Después de hervir se añadió 1g de Na_2SO_4 como agente coagulante, luego de enfriar en baño de agua más hielo, se centrifugó a 11,000 rpm por 15min. Seguidamente se decantó el extracto alcalino y se volvió a lavar el residuo del suelo dos veces con 20 ml de agente extractante que contenga Na_2SO_4 por centrifugación, como en el anterior paso. Una vez combinados el extracto soluble y los lavados, se acidificó el extracto con concentración de H_2SO_4 (1 ml:100 ml) y se dejó reposar durante 30min. Posterior a ello se filtraron los extractos acidificados a través del filtro (Toyo Roshi N° 5C) en un Erlenmeyer volumétrico de 100 ml, después se lavó el precipitado con H_2SO_4 (relación, ácido a agua, 1 ml:100 ml) y se completó el volumen filtrado (AF) a 100 ml. El ácido húmico precipitado (en el papel filtro) se disolvió con 0.1N NaOH, y se recogió la solución



en un Erlenmeyer de 100 o 250 ml de volumen (según el contenido de ácido húmico - AH).

Para la cuantificación del contenido de carbono orgánico total y en las sustancias húmicas (AH, AF, Hum) se realizó por el método Walkley y Black.

3.4.4. Etapa de gabinete (procesamiento e interpretación de datos)

En esta etapa se procedió al procesamiento e interpretación de la información obtenida en la etapa de campo y los resultados obtenidos en el laboratorio, para identificar los límites de suelos, unidades edáficas y su clasificación taxonómica que son necesarios para la elaboración del mapa de suelos. También se revisó bibliografía para determinar el CO del suelo dicha fórmula se muestra más adelante.

3.5. MÉTODOS

3.5.1. Métodos para la caracterización de suelos

Para la caracterización de suelo se realizó los análisis de suelo en laboratorio de cada una de las muestras recolectadas de cada calicata en campo, para cada análisis, como el pH, conductividad eléctrica, textura, materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible, potasio disponible, aluminio intercambiable, carbonato de calcio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes cambiables.

Tabla 3.

Ensayos requeridos para la caracterización de suelos

ENSAYO	MÉTODO
pH	Medida en el Potenciómetro de suspensión Suelo – Agua 1:1
Conductividad eléctrica	Lectura del extracto acuoso en la relación Suelo – Agua 1:1
Textura	Método del Hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO ₃ 0.5M
Potasio disponible	Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en espectrofotómetro
Aluminio intercambiable	Método de Yuan. Extracción con Cloruro de Potasio 1N
Carbonato de calcio	Método de neutralización acida
Capacidad de intercambio catiónico	Método del Acetato de Amonio 1N, pH 7.0
Cationes cambiables	Determinaciones en el extracto de amonio Ca: Método del E.D.T.A Mg: Método del amarillo de tiazol K: Fotómetro de llama Na: Fotómetro de llama

Nota: Adaptado del trabajo de tesis, por R.P. Moya Sucari, 2024

3.5.2. Metodología para la clasificación de suelos según Soil Taxonomy

Para la clasificación de suelos se usó las claves de Taxonomía, la cual cuenta con 12 órdenes de suelos (Alfisols, Andisols, Aridisols, Entisol, Gelisols, Histosols, Inceptisol, Mollisol, Oxisols, Spodosols, Ultisols y vertisols), 64 sub órdenes, más de 300 grandes grupos, subgrupo, familia y series. También se tuvo en cuenta las propiedades de diagnóstico para la identificación de los horizontes (epipedón y endopedón) se identificó el régimen de temperatura (Gélico, Cryico, Mésico, Térmico e Hipertérmico) y régimen de humedad (Aquic, Aridic y Tórrico, Údico, Ústico y Xérico) una vez determinado el tipo de horizonte, el régimen de temperatura y régimen de humedad se empieza a clasificar comenzando por el orden, grandes grupos subgrupo y familia (nivel jerárquico) (Soil Survery Staff, 2022).



3.5.3. Metodología para la cuantificación de carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico (CO) total y las fracciones húmicas (AH, AF y Hum) se determinaron mediante combustión húmeda por el método Walkley y Black (1934). Para ello se prosiguió tener las muestras ya fraccionadas en ácido húmico, ácido fúlvico y humina, preparando tres blancos más las muestras de ácido húmico, ácido fúlvico y humina, las muestras fueron aplicadas con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), agua destilada y ácido sulfúrico (H_2SO_4), y se esperó por 30 min hasta que la reacción se enfrié, una vez fría la solución se agregó dos gotas de difenilamina. Posterior a ello, se llevó a un agitador magnético para realizar la titulación con sulfato ferroso de todas las muestras para la titulación, finalmente se anotaron los datos para los cálculos para la determinación de carbono orgánico (CO).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELO SEGÚN EL REGLAMENTO DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Para realizar la delimitación se tuvo en cuenta los análisis de caracterización de las muestras para así poder identificar el pH, la conductividad eléctrica (CE ds.m^{-1}), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), carbonato de calcio (CaCO_3), aluminio (Al), la textura y clase textural, capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes cambiabiles y la suma de bases (SB), posterior se empezó a contrastar con las claves de la Soil Taxonomy para el tipo de suelo (Soil Survey Staff, 2022).

Se ha efectuado la descripción e identificación de las unidades cartográficas en el área de investigación. Estas unidades constan de 11 consociaciones claramente delimitadas en el mapa de suelos. Cada una de estas unidades se caracteriza por su área total aproximada y los respectivos porcentajes. Además, se ofrecen detalles sobre las propiedades físicas, morfológicas y químicas de los diferentes tipos de suelos predominantes en cada unidad cartográfica.

Tabla 4.*Áreas y proporciones de las consociaciones de suelo*

Consociación	Símbolo	Porcentaje %	Superficie	
			Área ha	% área
Quimsachata - Ichu	Qm-Ic	100	1073.95	17.12
Quimsachata - Tipico	Qm-Ti	100	110.63	1.76
Quimsachata - Simple	Qm-Si	100	159.91	2.55
Quimsachata - Vista	Qm-Vi	100	193.39	3.08
Quimsachata - Neblina	Qm-Ne	100	127.16	2.03
Quimsachata - Fino	Qm-Fi	100	3141.07	50.08
Quimsachata - Santiago	Qm-Sa	100	89.36	1.42
Quimsachata - Rojo	Qm-Ro	100	927.08	14.78
Quimsachata - Sara Cocha	Qm-SC	100	119.15	1.90
Quimsachata - Enterrado	Qm-En	100	31.43	0.50
Quimsachata - Sapo	Qm-Sa	100	82.34	1.31
Otras unidades	Otr		216.98	3.46
Total			6272.44	100

Nota: Elaboración propia

4.1.1. Suelo Quimsachata – Ichu (Franco gruesa, Litic Cryorthents)

El suelo denominado Quimsachata – Ichu (Franco gruesa, Litic Cryorthents), cuya textura es franco limoso hasta los 10 cm (Tabla 4), este suelo se desarrolló a partir del material de andesita, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50 %), de perfil A/C1/C2, identificando un epipedón ócrico, los colores de suelo en el perfil son variables desde pardo oscuro a pardo.

Tabla 5.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Ichu

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-11	10	51	38	1	FA	1.20
C1	11-32	25	59	38	3	FA	1.35
C2	32-76		55	40	5	FA	1.19

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 5), presentan una reacción del suelo desde ligeramente ácido a moderadamente ácido y no hay presencia de carbonato de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (0.10 %), el contenido de fósforo es bajo (1.45 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es medio (215.03 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 6.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Ichu

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A	0-10	7.3	0.03	0.00	0.10	1.45	215.03
C1	10-24	5.7	0.04	0.00	0.24	0.55	136.84
C2	24-40	6.5	0.03	0.00	0.31	0.65	117.29

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 6) en el primer horizonte, presenta una CIC de 6.06 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases 77 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 7.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Ichu

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-10	6.06	3.10	1.20	0.38	0.00	0.00	77
C1	10-24	19.43	13.70	3.40	0.45	0.00	0.00	90
C2	24-40	18.20	11.00	4.20	0.48	0.00	0.00	86

Nota: Elaboración propia

4.1.2. Suelo Quimsachata – Típico (Franco gruesa, Typic Cryorthents)

El suelo denominado Quimsachata – Típico (Franco gruesa, Typic Cryorthents) cuya textura es franco arenoso hasta los 100 cm, (Tabla 7), el suelo se desarrolló a partir del material de andesita, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A1/A2/C1/C2, identificando un epipedón ócrico, los colores varían desde pardo oscuro a pardo.

Tabla 8.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Típico

Horizonte	Profundidad [cm]	(%) de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A1	0-11	10	51	38	1	FA	1.20
A2	11-32	25	59	38	3	FA	1.35
C1	32-76	-	55	40	5	FA	1.19
C2	76-100	-	53	38	9	FA	1.37

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 8), presentan una reacción del suelo desde moderadamente ácido a neutro y no hay presencia de

carbonato de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.25 %), el contenido de fósforo es bajo (1.60 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es alto (273.68 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 9.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Típico

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A1	0-11	6.0	0.06	0.00	1.25	1.60	273.68
A2	11-32	6.2	0.05	0.00	1.13	0.60	39.09
C1	32-76	6.8	0.04	0.00	0.40	1.02	58.64
C2	76-100	7.2	0.04	0.00	0.30	0.65	58.64

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 9) en el primer horizonte, presenta una CIC de 9.19 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases 65 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 10.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Típico

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A1	0-11	9.19	3.60	1.90	0.36	0.008	0.00	64
A2	11-32	11.20	4.50	3.00	0.54	0.008	0.00	72
C1	32-76	13.63	6.30	4.80	0.54	0.026	0.00	86
C2	76-100	17.43	8.60	5.90	0.65	0.060	0.00	87

Nota: Elaboración propia

4.1.3. Suelo Quimsachata - Simple (Franco gruesa, Typic Cryorthents)

El suelo denominado Quimsachata - Simple (Franco gruesa, Typic Cryorthents), cuya textura es franco arenoso hasta los 12 cm, arena franca desde

los 12 cm hasta 73 cm y franco arenoso desde los 73 cm hasta 95 cm, (Tabla 10), el suelo se desarrolló a partir del material de depósito coluvio-aluvial, localizado en una superficie llana ubicado muy cerca de la laguna Ululunasa. Se encuentra en una pendiente plana a casi nivel (0 a 2 %), de perfil A/C1/C2/C3, identificándose un epipedón ócrico, los colores varían desde pardo oscuro rojizo a gris oscuro.

Tabla 11.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Simple

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-12	20	49	50	1	FA	1.33
C1	12-38	65	84	13	3	AF	1.47
C2	38-73	60	76	22	2	AF	1.42
C3	73-95	10	49	50	1	FA	1.35

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 11), presentan una reacción del suelo desde neutro a fuertemente alcalino y con presencia de carbonato en dos horizonte o capa que va desde 1.32 a 1,98 % en el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.51 %), el contenido de fósforo es bajo (1.90 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponibles es bajo (58.64 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad del suelo es baja.

Tabla 12.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Simple

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A	0-12	7.1	0.10	0.00	1.51	1.90	58.64
C1	12-38	8.2	0.10	1.98	1.10	0.30	97.74
C2	38-73	8.5	0.09	0.00	0.63	0.75	39.09
C3	73-95	8,3	0.14	1.32	0,20	0,15	39,09

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 12) en el primer horizonte, presenta una CIC de 10.65 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases 80 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 13.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Simple

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-12	10.65	6.70	1.50	0.35	0.008	0.00	80
C1	12-38	8.71	4.50	2.40	0.32	0.00	0.00	83
C2	38-73	10.43	5.00	2.00	0.34	0.004	0.00	70
C3	73-95	16.53	6.60	6.80	0.41	0.01	0.00	84

Nota: Elaboración propia

4.1.4. Suelo Quimsachata – Vista (Franco gruesa, Typic Cryorthents)

El suelo denominado Quimsachata – Vista (Franco gruesa, Typic Cryorthents), cuya textura es franco arenoso hasta los 20 cm, franco limoso desde los 20 hasta 37 cm y franco arenoso hasta desde los 37 a 85 cm, (Tabla 13), el suelo se desarrolló a partir del material de depósito coluvial, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de ladera depositacional, tiene una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A/AB/Bw/C, identificando un

epipedón ócrico, los colores del suelo son variables desde pardo muy oscuro a pardo amarillento.

Tabla 14.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Vista

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-20	45	50	44	6	FA	1.28
AB	20-37	10	32	61	7	FL	1.35
Bw	37-52	-	53	36	11	FA	1.20
C	52-85	-	55	38	7	FA	1.32

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 14), presentan una reacción del suelo desde fuertemente ácido a neutro y no hay presencia de carbonato de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.51 %), el contenido de fósforo es bajo (0.60 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es alto (156.39 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 15.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Vista

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A	0-20	5.5	0.03	0.00	1.51	0.60	156.39
AB	20-37	6.3	0.03	0.00	1.00	0.10	19.54
Bw	37-52	6.6	0.03	0.00	0.50	0.10	117.29
C	52-85	6.9	0.06	0.00	1.00	0.10	195.49

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 15) en el primer horizonte, presenta una CIC de 8.01 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases 54 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 16.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Vista

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-20	8.01	1.60	2.46	0.24	0.004	0.00	54
AB	20-37	7.30	1.20	2.30	0.45	0.00	0.00	54
Bw	37-52	11.58	6.30	3.20	0.31	0.01	0.00	85
C	52-85	16.36	9.80	2.90	0.44	0.02	0.00	80

Nota: Elaboración propia

4.1.5. Suelo Quimsachata – Neblina (Franco gruesa, Litic Cryorthents)

El suelo denominado Quimsachata – Neblina (Franco gruesa, Litic Cryorthents), cuya textura es franco limoso hasta los 21 cm y franco desde los 21 hasta 46 cm, (Tabla 16), el suelo se desarrolló a partir del material de diorita, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de ladera, tiene una pendiente empinada (25 a 50 %), de perfil A/AB/R, identificando un epipedón ócrico, el color es pardo para ambos horizontes.

Tabla 17.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Neblina

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002		
A	0-21	0	40	57	3	FL	1.11
BC	21-30	0	40	47	13	F	1.01
R	30-46	-	-	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 17), presentan una reacción del suelo ligeramente alcalino y presencia de carbonato de calcio en el segundo horizonte. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.54 %), el contenido de fósforo disponible es bajo (4.10 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es medio (136.84 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad es bajo.

Tabla 18.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Neblina

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A	0-21	7.6	0.13	0.00	2.54	4.10	136.84
BC	21-30	7.8	0.16	6.02	1.51	3.55	273.68
R	30-46	-	-	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 18), en el primer horizonte, presenta una CIC de 27.07 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como alto y con una saturación de bases 95 % habiendo clasificado como alto.

Tabla 19.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Neblina

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
			cmol(+).kg ⁻¹					
A	0-21	27.07	18.70	6.60	0.36	0.001	0.00	95
BC	21-30	50.22	37.90	8.20	0.47	0.00	0.00	93
R	30-46	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia

4.1.6. Suelo Quimsachata – Fino (Franco fina, Ustic Haplocryepts)

El suelo Quimsachata – Fino (Franco fina, Ustic Haplocryepts), cuya textura es franco limoso hasta los 7 cm, franco desde los 7 hasta los 18 cm, franca franco arcilloso desde los 18 hasta los 55 cm y franco limoso desde los 55 hasta los 70 cm (Tabla 19), el suelo se desarrolló a partir del material de conglomerados con clastos de ortocuarcitas, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de ladera, tiene una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A/AB/Bw/BC, identificado un epipedón ócrico, los colores del suelo es pardo muy rojizo.

Tabla 20.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Fino

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textu ral	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-7	10	10	79	11	FL	1.22
AB	7-18	30	38	49	13	F	1.17
Bw	18-55	40	30	43	27	F-FAr	1.17
BC	55-70		32	55	13	FL	1.26

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 20), presentan una reacción del suelo desde ligeramente ácido a moderadamente alcalino, presencia de carbonato de calcio en el cuarto horizonte. En el primer horizonte es contenido de materia orgánica es bajo (1.77 %), el contenido de fósforo disponible es bajo (1.75 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es medio (117.29 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 21.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Fino

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A	0-7	6.2	0.05	0.00	1.77	1.75	117.29
AB	7-18	7.0	0.05	0.00	1.51	0.15	215.94
Bw	18-55	7.9	0.14	0.00	1.00	0.10	215.94
BC	55-70	8.2	0.14	6.55	0.23	0.05	371.43

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 21) en el primer horizonte, presenta una CIC de 11.53 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como baja y con una saturación de bases 86 % habiendo clasificado como alta.

Tabla 22.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Fino

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
			cmol(+).kg ⁻¹					
A	0-7	11.53	5.80	3.70	0.41	0.01	0.00	86
AB	7-18	19.54	11.60	4.50	0.57	0.00	0.00	85
Bw	18-55	24.59	17.90	3.90	0.60	0.00	0.00	91
BC	55-70	24.62	16.90	5.50	0.56	0.00	0.00	93

Nota: Elaboración propia

4.1.7. Suelo Quimsachata – Santiago (Franco gruesa, Ustic Haplocrypts)

El suelo Quimsachata – Santiago (Franco gruesa, Ustic Haplocrypts), cuya textura es franco limoso hasta los 16 cm, franco desde los 16 hasta los 31 cm y franco arenoso desde los 31 hasta los 62 cm, (Tabla 22), el suelo se desarrolló a partir del material de andesita, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de ladera, tiene una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A/Bw/C, identificando un epipedón ócrico, los colores del suelo son variables desde pardo oscuro a pardo grisáceo.

Tabla 23.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Santiago

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textura	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-16	10	35	52	13	FL	1.21
Bw	16-31	10	35	48	17	F	1.19
C	31-62	50	53	40	7	FA	1.16

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 23), presentan una reacción del suelo desde moderadamente ácido a neutro, y no hay presencia de carbonato de calcio en los horizontes. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.20 %), el contenido de fósforo es bajo (2.50 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio es medio (195.49 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 24.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Santiago

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A	0-16	5.6	0.04	0.00	2.20	3.50	195.49
Bw	16-31	6.1	0.04	0.00	1.74	1.00	156.39
C	31-62	6.7	0.05	0.00	0.03	0.55	351.88

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 24) en el primer horizonte, presenta una CIC de 11.77 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases de 73 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 25.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Santiago

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-16	11.77	2.10	6.10	0.34	0.039	0.00	73
Bw	16-31	57.43	36.50	16.90	0.51	0.039	0.00	94
C	31-62	46.03	28.60	13.20	0.54	0.034	0.00	92

Nota: Elaboración propia

4.1.8. Suelo Quimsachata - Rojo (Franco gruesa, Ustic Haplocryepts)

El suelo Quimsachata - Rojo (Franco gruesa, Ustic Haplocryepts), cuya textura es franco limoso hasta los 65 cm, (Tabla 25), el suelo se desarrolló a partir del material de caliza, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de cima de montaña, tiene una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A/Bw/C, identificando un epipedón ócrico, los colores del suelo son variables desde pardo oscuro rojizo a pardo rojizo.

Tabla 26.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata - Rojo

Horizonte	Profundidad [cm]	(%) de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textu ral	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-8	10	35	52	13	FL	1.17
Bw	8-23	10	21	60	19	FL	1.23
C	23-65	5	33	56	11	FL	1.40

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 26), presentan una reacción del suelo desde moderadamente ácido a moderadamente alcalino y presencia de carbonato de calcio en el tercer horizonte. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.77 %), el contenido de fósforo disponible

es bajo (1.70 mg.kg^{-1}), el contenido de potasio disponible es bajo (78.19 mg.kg^{-1}), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 27.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata - Rojo

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A	0-8	5.7	0.06	0.00	1.77	1.70	78.19
Bw	8-23	6.3	0.03	0.00	1.00	0.30	39.09
C	23-65	8.2	0.07	5.23	0.10	0.10	19.54

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 27) en el primer horizonte, presenta una CIC de $11.42 \text{ cmol(+)}.kg^{-1}$ habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases de 75 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 28.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata - Rojo

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-8	11.42	4.70	3.40	0.49	0,00	0.00	75
Bw	8-23	18.41	11.00	4.10	0.58	0.00	0.00	85
C	23-65	20.47	11.60	4.50	0.49	0.00	0.00	81

Nota: Elaboración propia

4.1.9. Suelo Quimsachata - Sara Cocha (Franco fina, Thapto-Humic Haplocryepts)

El suelo Quimsachata - Sara Cocha (Franco fina, Thapto-Humic Haplocryepts), cuya textura es franco limoso hasta los 5 cm, franco arenoso desde los 5 hasta los 32 cm y franco desde los 32 hasta los 70 cm, (Tabla 28), el suelo se desarrolló a partir del material de areniscas cuarzosas grises, se encuentra en

una montaña con una forma de terreno de ladera, tiene una pendiente empinada (25 a 50 %), de perfil A/AB/Bw/Ab, identificando un epipedón ócrico, los colores del suelo son variables desde pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro.

Tabla 29.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata - Sara Cocha

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textura 1	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.0 02		
A	0-5	-	48	51	1	FL	1.25
AB	5-22	15	64	35	1	FA	1.47
Bw	22-32	30	56	31	13	FA	1.23
Ab	32-70	10	40	41	19	F	1.31

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 29), presentan una reacción del suelo desde ligeramente ácido a neutro y no hay presencia de carbonato de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.92 %), el contenido de fósforo disponible es bajo (0.55 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es medio (234.58 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 30.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata - Sara Cocha

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A	0-5	6.1	0.05	0.00	1.92	0.55	234.58
AB	5-22	6.3	0.05	0.00	1.95	0.45	175.24
Bw	22-32	6.5	0.08	0.00	2.00	0.00	58.64
Ab	32-70	7.1	0.07	0.00	2.10	0.30	117.29

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 30) en el primer horizonte, presenta una CIC de 8.90 cmol(+).kg-1 habiendo clasificado como bajo y con una saturación de bases de 73 % habiendo clasificado como medio.

Tabla 31.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata - Sara Cocha

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabes					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-5	8.90	3.80	2.20	0.48	0.00	0.00	73
AB	5-22	7.12	4.20	1.20	0.56	0.00	0.00	84
Bw	22-32	10.03	3.10	4.30	0.57	0.00	0.00	79
Ab	32-70	10.98	4.90	2.40	0.53	0.004	0.00	71

Nota: Elaboración propia

4.1.10. Suelo Quimsachata – Enterrado (Franco gruesa, Thapto-Humic Haplocryepts)

El suelo Quimsachata – Enterrado (Franco gruesa, Thapto-Humic Haplocryepts), cuya textura es franco limoso hasta los 45 cm, franco arenoso desde los 54 hasta los 51 cm y franco limoso desde los 51 hasta los 100 (Tabla 31), el suelo se desarrolló a partir del material de depósito coluvio-aluvial, se encuentra en una llanura con una forma de terreno de superficie llana, tiene una pendiente ligeramente inclinada (2 a 4 %), de perfil A/AB/Bw/C1/C2/Ab, identificando un epipedón ócrico y un endopedon cambic, los colores del suelo son variables desde pardo muy oscuro a pardo.

Tabla 32.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Enterrado

Horizonte	Profundidad [cm]	(% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA))				Clase Textu ral	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A	0-9	10	22	67	11	FL	1.33
AB	9-30	5	24	55	21	FL	1.32
Bw	30-45	-	20	61	19	FL	1.18
C1	45-51	35	60	35	5	FA	1.24
C2	51-80	-	32	59	9	FL	1.33
Ab	80-100	-	30	53	17	FL	1.10

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 32), presentan una reacción del suelo desde ligeramente ácido a moderadamente alcalino y presencia de carbonato de calcio en el cuarto y quinto horizonte. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.38 %), el contenido de fósforo disponible es bajo (1.45 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es bajo (58.64 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 33.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Enterrado

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A	0-9	6.5	0.07	0.00	1.38	1.45	58.64
AB	9-30	6.5	0.06	0.00	1.33	0.80	156.39
Bw	30-45	7.1	0.06	0.00	1.00	0.65	97.74
C1	45-51	7.9	0.13	4.43	0.74	0.60	58.64
C2	51-80	8.1	0.14	1.54	0.74	1.80	234.58
Ab	80-100	8.0	0.12	0.00	2.28	2.25	293.23

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 33) en el primer horizonte, presenta una CIC de 18.85 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ habiendo clasificado como medio y con una saturación de bases de 85 % habiendo clasificado como alto.

Tabla 34.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Enterrado

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A	0-9	18.85	12.10	3.30	0.68	0.00	0.00	85
AB	9-30	16.74	10.50	4.50	0.42	0.02	0.00	92
Bw	30-45	20.67	12.90	5.00	0.31	0.00	0.00	88
C1	45-51	14.07	9.60	2.50	0.33	0.00	0.00	88
C2	51-80	20.16	13.40	4.20	0.36	0.00	0.00	89
Ab	80-100	20.03	14.10	4.40	0.28	0.004	0.00	94

Nota: Elaboración propia

4.1.11. Suelo Quimsachata – Sapo (Franco fina, Ustic Haplocryolls)

El suelo Quimsachata – Sapo (Franco fina, Ustic Haplocryolls), cuya textura es franco limoso hasta los 24 cm, franco desde los 24 hasta los 38 cm, franco - franco arcillosos desde los 38 hasta los 51 cm y franco desde los 51 hasta los 87 cm, (Tabla 34), el suelo se desarrolló a partir del material de conglomerados polimicticos, se encuentra en una montaña con una forma de terreno de ladera, tiene una pendiente moderadamente empinada (15 a 25 %), de perfil A1/A2/Bw/C, identificando un epipedón mollico y un endopedón cambic, los colores del suelo son variables desde negro a pardo oscuro.

Tabla 35.

Textura y propiedades físicas del suelo Quimsachata – Sapo

Horizonte	Profundidad [cm]	(%) de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 – 0.05	Limo 0.05- 0.002	Arcilla <0.002		
A1	0-24	10	31	62	7	FL	1.05
A2	24-38	10	31	48	21	F	1.12
Bw	38-51	10	33	40	27	FFA	1.32
C	51-87	20	47	34	19	F	1.32

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 35), presentan una reacción del suelo desde ligeramente ácido a neutro y no hay presencia de carbonato de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.28 %), el contenido de fósforo disponible es bajo (0.85 mg.kg⁻¹), el contenido de potasio disponible es bajo (78.19 mg.kg⁻¹), por lo tanto, la fertilidad natural del suelo es baja.

Tabla 36.

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Quimsachata – Sapo

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
A1	0-24	6.3	0.08	0.00	2.28	0.85	78.19
A2	24-38	6.4	0.07	0.00	1.43	0.20	58.64
Bw	38-51	7.1	0.06	0.00	1.51	0.15	78.19
C	51-87	7.0	0.07	0.00	0.74	0.25	19.54

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 36) en el primer horizonte, presenta una CIC de 20.73 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como medio y con una saturación de bases 84 % habiendo clasificado como alto.



Tabla 37.

Propiedades de sorción del suelo Quimsachata – Sapo

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
A1	0-24	20.73	10.50	6.40	0.46	0.06	0.00	84
A2	24-38	19.58	9.50	6.70	0.46	0.03	0.00	85
Bw	38-51	17.76	10.70	4.70	0.45	0.03	0.00	89
C	51-87	14.97	6.60	4.10	0.42	0.02	0.00	74

Nota: Elaboración propia

4.1.12. Clasificación de suelos según el Soil Taxonomy

Tabla 38.

Clasificación natural de suelos según el Soil Taxonomy

SOIL TAXONOMY (2022)

Orden	Suborden	Gan grupo	Subgrupo	Familia	Suelo
Entisols	Orthents	Cryorthents	Lithic Cryorthents	Franco gruesa, Lithic Cryorthents	Quimsachata - Ichu
			Typic Cryorthents	Franco gruesa, Typic Cryorthents	Quimsachata - Típico
				Franco gruesa, Typic Cryorthents	Quimsachata - Simple
Inceptisols	Cryepts	Haplocryepts	Typic Haplocryepts	Franco gruesa, Typic Haplocryepts	Quimsachata - Vista
			Lithic Haplocryepts	Franco gruesa, Lithic Haplocryepts	Quimsachata - Neblina
				Franco fina, Ustic Haplocryepts	Quimsachata - Fino
Mollisols	Cryolls	Haplocryolls	Ustic Haplocryepts	Franco gruesa, Ustic Haplocryepts	Quimsachata - Santiago
			Thapto-Humic Haplocryepts	Franco gruesa, Ustic Haplocryepts	Quimsachata - Rojo
				Franco fina, Thapto-Humic Haplocryepts	Quimsachata - Sara Cocha
Mollisols	Cryolls	Haplocryolls	Ustic Haplocryolls	Franco gruesa, Thapto-Humic Haplocryepts	Quimsachata - Enterrado
			Ustic Haplocryolls	Franco fina, Ustic Haplocryolls	Quimsachata - Sapo

Nota: Elaboración propia



Según el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff. 2022; 1999). Se clasificó para los suelos de Quimsachata en los órdenes de Entisol (otros suelos), Inceptisol (suelos que cuentan con un horizonte cámbico) y Mollisol (suelos que su peculiaridad es el contenido de materia orgánica y de color oscuro), al nivel de sub orden se clasificó para el orden Entisol en Orthents ya que no coincide con las ciertas características que requieren los otros sub órdenes de suelos, para los Inceptisol el sub orden es Cryepts este se caracteriza por tener el régimen de temperatura cryico y para el caso del orden de Mollisol el subgrupo es Cryolls este orden se caracteriza por tener el régimen de temperatura cryico.

Para el caso de sub orden Orthents cuenta con un Gan grupo de Cryorthents por el régimen de temperatura a su vez este orden Entisol se divide en el nivel de subgrupo en Litic Cryorthents el cual cuenta con un contacto lítico dentro de los 40 a 46 cm de profundidad de la superficie del suelo. Para su familia se clasificó en Franco gruesa - Litic Cryorthents, y en el subgrupo de Typic Cryorthents el cual cuenta con una familia Franco gruesa - Typic Cryorthents esta familia cuenta con dos suelos, pero estos son diferentes porque están ubicados en distintos paisajes, tienen una diferente unidad geomorfológica y una pendiente diferente. Por otro lado, el sub orden Cryepts se clasificó a nivel de gran grupo a Haplocryepts, al nivel de subgrupo se clasificaron en Typic Haplocryepts, Lithic Haplocryepts, Ustic Haplocryepts y Thapto – Humic Haplocryepts. Se clasificaron en familia para el subgrupo Typic Haplocryepts con Franco gruesa - Typic Haplocryepts, para el subgrupo Lithic Haplocryepts con Franco gruesa - Lithic Haplocryepts, para el subgrupo Ustic Haplocryepts cuenta con dos familias Franco fina - Ustic Haplocryepts y Franco gruesa - Ustic Haplocryepts esta familia cuenta con dos suelos que son diferentes porque están ubicados en distintos



paisajes, tienen una diferente unidad geomorfológica y una pendiente diferente. Para el subgrupo Thapto – Humic Haplocryepts cuenta con dos familias Franco fina, Thapto-Humic Haplocryepts y Franco gruesa, Thapto-Humic Haplocryepts.

El orden Mollisol cuenta con un sub orden de Cryolls, el cual se ubica en el nivel de gran grupo Haplocryolls. El subgrupo Ustic Haplocryolls y tiene una familia Franco fina, Ustic Haplocryolls.

Según la ONERN, (1979), en estudios realizados en la región de Puno en clasificación de suelos se describieron para el conjunto Cabanillas se tiene una clasificación taxonómica de Typic Ustifluvents, Franco fino además mencionan que los perfiles de suelo no tienen desarrollo genético por la falta de condiciones apropiada, tiene un relieve plano y una pendiente de 3%, el tipo de material parental es un depósito coluvio-aluvial, en la clasificación de suelos para la estación experimental Quimsachata se puede decir, que lo perfiles de suelos pertenecientes al orden Entisol el cual no tienen un desarrollo genético y además el régimen de humedad es ústico para ambos estudios; lo que se concuerda con el estudio que realizaron.

ONERN, (1979), hicieron la descripción taxonómica para el Conjunto Cabana y mencionan que estos suelos son moderadamente profundos y tiene un desarrollo a partir de la geología Azángaro (Naz), se clasifico como Typic Ustorthents Franco fina tiene un paisaje de cima de colina con una pendiente de 0.5 % el tipo de relieve es ondulado.

ONERN, (1979), realizó estudios semidetallados de suelos en Maravillas – Puno, donde clasifica los suelos mediante la Soil Taxonomy USDA (1975), tiene una pendiente de 0-2 %, cuenta con un material parental de sedimentos fluviales,



el tipo de relieve es ligeramente ondulado y que está ubicado en un valle se clasifico como Typic Usticfluvent. Estas características son similares, por el régimen de humedad ústico pero por lo contrario se clasifico como Typic Cryorthents cuenta con un material parental de andesita y está ubicado en una ladera de 15-25%, con una vegetación de Ichu a una altura de 4425 m.s.n.m.

Moya, (2024), realizó la clasificación de suelos de la estación Experimental Agraria Illpa – Inia, encontró cuatro consociaciones, estas unidades de suelos se encuentran en superficies llanas, además encontró los órdenes Mollisol y Inceptisol y proveniente de un depósito aluvial, con un régimen de temperatura mésico y humedad ústico, por otro lado, son diferentes a los órdenes encontrados en Quimsachata el orden Mollisol se ubica en una ladera (15 - 25 %), y se ubica en una montaña, su material parental es el conglomerado polimictico y por último el orden Inceptisol se ubica en una montaña y con una ladera (15 – 25 %) y su material parental es diorita.

Mamani, (2023), realizó la clasificación de la Estación Experimental Agraria - Illpa anexo Salcedo, su material parental es sedimentos aluviales y coluviales y se localiza en una superficie llana, este cuenta con un epipedón Mollic y un endopedón Cambic aviándose clasificado como Mollisol según el Soil Taxonomy, es diferente por el tipo de relieve que tiene este orden Mollisol ya que se ubica en una montaña con una pendiente de 15 – 25 % y su material parental es conglomerado polimictico, pero son similares en cuanto al epipedón Mollic y endopedón Cambic.

4.2. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) DE LAS FRACCIONES HÚMICAS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS.

4.1.1. Fórmula para la determinación de COT de las fracciones húmicas.

Las muestras de suelo se pesaron y se analizaron en el laboratorio para determinar el contenido de carbono orgánico total (COT), para la diferencia entre contenido de CO se tomó los órdenes de suelo (Entisol, Inceptisol y Mollisol) que se clasificaron según el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff. 2022; 1999), para determinar el contenido de COT (MgC.ha-1) se utilizó la siguiente ecuación (Ramírez *et al.*, 2013).

$$COS = \sum_{horizonte=1}^{horizonte=n} COS_{horizonte}$$
$$= \sum_{horizonte=1}^{horizonte=n} ([COS] * Da * profundidad * (1 - frag) * 10)_{horizonte}$$

Donde:

COS = contenido de carbono orgánico del suelo (MgC/ha⁻¹)

COS horizonte = contenido de carbono orgánico del suelo para un horizonte de suelo (MgC/ha⁻¹).

[COS] = contenido de carbono orgánico del suelo obtenido (%)

Da = densidad aparente (Mg/m⁻³)

Profundidad = profundidad del horizonte (m)

Frag = % de fragmento grueso del horizonte/100

Tabla 39.*Contenido de carbono orgánico en diferentes órdenes de suelos.*

Orden	Suelo	[COS] (%)	Pf(m)	Da (mg/m ⁻³)	%Frag/100	COT MgC/ha ⁻¹
Entisol	Ichu	6.30	0.10	1.32	0.10	7.5
Entisol	Tipico	7.10	0.11	1.21	0.10	8.5
Entisol	Tipico	4.30	0.21	1.35	0.25	9.1
Entisol	Simple	3.60	0.12	1.33	0.20	4.6
Inceptisol	Vista	9.00	0.20	1.28	0.45	12.7
Inceptisol	Neblina	10.50	0.21	1.11	0.40	14.7
Inceptisol	Fino	12.30	0.07	1.22	0.00	10.5
Inceptisol	Fino	7.50	0.11	1.47	0.10	10.9
Inceptisol	Santiago	8.40	0.16	1.21	0.10	14.6
Inceptisol	Rojo	12.60	0.08	1.18	0.10	10.7
Inceptisol	Sara Cocha	15.00	0.05	1.25	0.00	9.4
Inceptisol	Sara Cocha	9.10	0.17	1.47	0.15	19.3
Inceptisol	Enterrado	12.10	0.09	1.33	0.10	13.1
Inceptisol	Enterrado	6.90	0.21	1.32	0.05	18.1
Mollisol	Sapo	13.00	0.24	1.05	0.10	29.6
Mollisol	Sapo	14.50	0.14	1.12	0.10	20.5

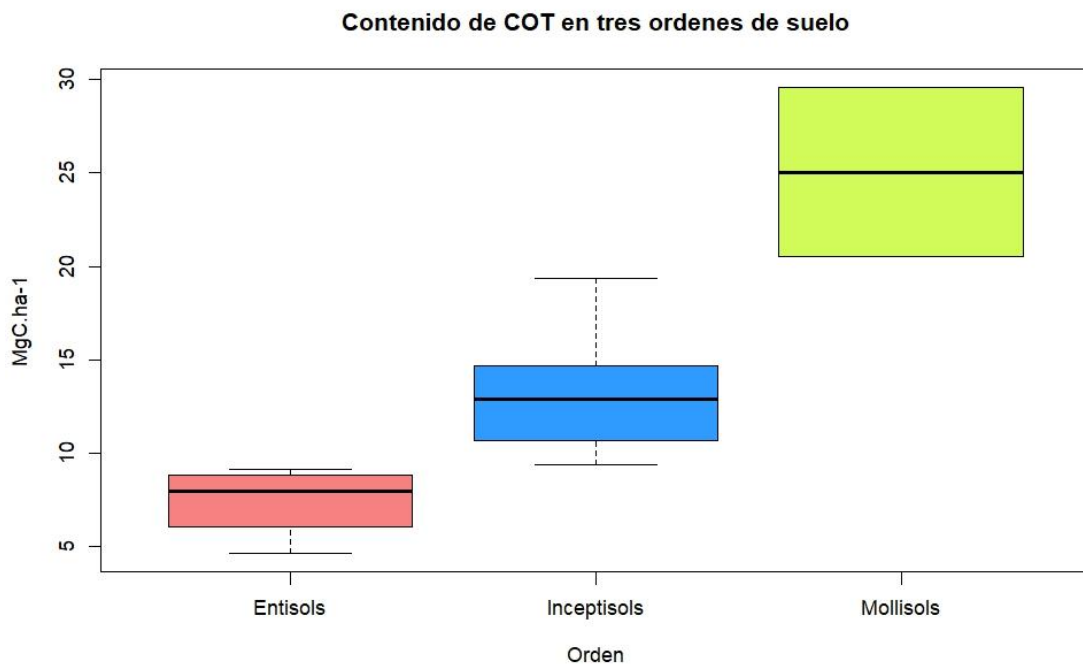
Nota: Elaboración propia, COS: Carbono orgánico del suelo, Pf: profundidad, Da: densidad aparente, COT: Carbono orgánico total.

En la tabla 38 se cuenta con los 3 órdenes de suelos (Entisol, Inceptisol y Mollisol) con sus respectivos nombres de suelo que anteriormente se clasificó, el contenido de COT se encuentra en porcentaje. El Pf (m) es la profundidad de los horizontes que se obtuvo en la fase de campo, la densidad aparente Da (Mg/m⁻³) se obtuvo en laboratorio, el % Frag se obtuvo en la fase de campo en la lectura de cada horizonte y se dividió entre 100 y por último se cuenta con el COT (MgC/ha⁻¹) por horizonte (epipedón) este dato se obtuvo usando la ecuación anterior.

4.1.2. Interpretación de diagrama de boxplot del COT de las fracciones húmicas

Figura 4.

Diagrama de boxplot de contenido de COT en los órdenes de suelo.



Nota: Elaboración propia

La variabilidad del contenido de carbono orgánico total (COT) se diferencia en el siguiente diagrama de cajas.

En el diagrama de boxplot (Figura 4) podemos identificar que el orden Entisol tiene una mediana de COT de 8.0 MgC.ha⁻¹ este orden cuenta con un mínimo de COT 4.6 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 9.1 MgC.ha⁻¹, además que existe más datos que son menores que la mediana por ello la mediana se desplaza hacia la parte superior.

Para el orden Inceptisol tiene una mediana de COT de 12.9 MgC.ha⁻¹ este orden cuenta con un mínimo de COT 9.4 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 19.3 MgC.ha⁻¹

¹, este orden de suelo cuenta con más datos de COT que son menores a la mediana por ello se desplaza ligeramente hacia la parte superior.

El orden Mollisol tiene una mediana de 25.1 MgC.ha⁻¹ este orden cuenta con un mínimo de COT 20.5 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 29.6 MgC.ha⁻¹ para este orden la mediana se ubica en la mitad de los datos esto nos dice que el 50 % de COT son menores a la media y el otro 50 % son mayores a la media.

En el diagrama de boxplot (Figura 4), podemos ver la diferencia en el COT de los diferentes órdenes de suelo por ello el orden Mollisol cuenta con un epipedón Mollico el cual cuenta con una mayor concentración de MOS o es decir que existe una mayor concentración de CO en este orden de suelo. Por otro lado, el orden Entisol podemos decir que el contenido de COT es menor, ya que este orden tiene un perfil de suelo “A/C1/C2” común entre los Entisol por ello este orden contiene una menor concentración de CO en el epipedón y además a nivel de desarrollo este orden es relativamente joven. El orden Inceptisol se podría decir que tiene un contenido de COT medio, este orden cuenta con un perfil en común de A/AB/Bw/C por ello se dice que tiene un nivel de desarrollo moderado.

4.1.3. Interpretación del análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias

Tabla 40.

Análisis de ANOVA del contenido de carbono orgánico total (COT).

	GL	SC	CM	Valor F	P - valor
Orden	2	414.4	207.22	17.7	0.0001 *
Error	13	152.2	11.71		
Total	15				

Nota: Elaboración propia, GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrado medio, *p < 0.05

En el análisis de ANOVA del contenido de carbono orgánico total (Tabla 39) de los diferentes órdenes de suelo se observa que el valor de F es 17.7 y tiene una significancia de 0.0001 * ya que no supera al 0.05 o al 95 % de confiabilidad, esto nos indica que las medias de COT son diferentes estadísticamente por la diferencia de los órdenes de suelo.

Tabla 41.

Comparación de medias TUKEY de carbono orgánico total en tres órdenes de suelo.

	Inceptisol	Entisol
Mollisol	0.001 **	0.0001 **
Inceptisol		0.02 *

ns: no significativo
* $p < 0.05$

Nota: Elaboración propia

La Comparación de medias TUKEY de carbono orgánico total en tres órdenes de suelo (tabla 40), al comparar los órdenes de suelo Mollisol – Inceptisol nos da una diferencia significativa con un p - valor de 0.001 ** esto nos indica que tiene una mayor concentración de materia orgánica en el orden Mollisol que en el Inceptisol, también es significativo cuando el orden Mollisol – Entisol el cual cuenta con un p – valor 0.0001 * en este caso los Mollisol se caracterizan por tener un contenido superior de COT al del orden Entisol, por otro lado al comparar las medias de los órdenes de suelo Inceptisol – Entisol también existe diferencia significativa ya que el orden Entisol cuenta con un contenido de COT bajo que a comparación del orden Inceptisol.

En estudios previos realizados Ramírez *et al.*, (2013), indicó COS el cual hicieron la determinación de CO en un bosque mencionan que el almacén en



promedio de CO es de $153 \pm 41 \text{ MgC.ha}^{-1}$, eso se debe a la concentración de MO y la concentración de RROO (hojarasca o mantillo), los valores que se encontraron fueron que los órdenes (Entisol 8.0 MgC.ha^{-1}), Inceptisol (12.9 MgC.ha^{-1}) y Mollisol (25.1 MgC.ha^{-1}), los valores de COT son diferentes por el tipo de suelo que tiene el bosque, la vegetación en el área de estudio fue de Ichu, kanlli, tola; se concluye que no hay un aporte de RROO en gran cantidad.

Por otro lado Sanchez (2016), obtuvo los resultados del COS los cuales son significativos, obteniéndose en un almacén de COT en el sistema de sombra media, seguido de sombra alta y sombra baja el cual son: $182.1 \pm 35.9 \text{ MgC.ha}^{-1}$; $121.0 \pm 14.4 \text{ MgC.ha}^{-1}$ y $109.9 \pm 21.1 \text{ MgC.ha}^{-1}$, esto nos indica que los suelos con el factor de sombra y la abundancia de especies arbóreas, presentan una mayor concentración de COS; los datos encontrados en el estudio, el Mollisol cuenta con una vegetación moderada y un COT de 25.1 MgC.ha^{-1} pero para el orden Entisol es bajo 8.0 MgC.ha^{-1} , esto se debe a la cobertura vegetal que tienen los suelos.

Fernández (2019), reportó los siguientes resultados en las turberas de Alto Perú fueron $87.81 \text{ MgC.ha}^{-1}$ y $967.84 \text{ MgC.ha}^{-1}$, además nos indican que los suelos de color negro son los que contienen más contenido de carbono y los suelos de color marrón amarillento oscuro cuentan con menor concentración, efectivamente el suelo Mollisol cumple con esta característica de tener un color negro (10YR 2/1), pero los datos de contenido de COT son menores a los datos encontrados en las turberas ya que este suelo encontrado en Quimsachata es un suelo que está ubicado en una ladera de 15 – 25 %.

Jara (2023), evaluó el carbono orgánico del suelo en la microcuenca Cojup – Áncash, entre el periodo 2021-2099 (Trujillo – Perú), las reservas de COS total



a una profundidad de 40 cm fluctúan entre 2,3 a 54,3 MgC.ha⁻¹, los valores varían dependiendo de la profundidad del epipedón en algunos casos son menores a 40 cm. El suelo del orden mollisol cuenta con 25.1 MgC.ha⁻¹ a una profundidad de 38 cm, este valor de contenido de carbono orgánico está en el rango del estudio que se realizó en Trujillo.



4.3. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS (ÁCIDO HÚMICO – AH, ÁCIDO FÚLVICO - AF Y HUMINA - Hn) EN LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS (EPIPEDÓN).

El epipedón es la formación de horizontes cerca de la superficie del suelo, así mismo en esta epipedón no hay rocas ya que se han sido destruidas, en algunos epipedones es de color oscuro por el contenido de materia orgánica, o a su vez puede identificarse con los análisis de suelo y tiene una estructura granular (Soil Survey Staff. 2022; 1999).

Las sustancias húmicas están formadas por el ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) y la humina (Hn), son macromoléculas orgánicas (molécula de tamaño grande que están compuesta por varias sub unidades pequeñas de átomos), tiene una estructura amorfa y su estructura química es muy compleja estas fracciones provienen de los residuos orgánicos de origen vegetal o animal, las cuales son transformadas por la actividad microbiana y metamorfismo orgánico (transformaciones y reacciones por la que pasa los RROO para que se convierta en MOS) (López *et al.*, 2018).

4.3.1. Análisis de CO en las fracciones húmicas de los órdenes de suelo

Para la determinación del contenido de CO se hizo la extracción y el fraccionamiento de la MOS por el método Nagoya, descrito por Kumada (1987). Las muestras son secadas y tamizadas, para fraccionar la Materia orgánica del suelo (MOS), pesamos 5g de muestra de suelo, una vez pesado la muestra de suelo se lleva a un Erlenmeyer, en el Erlenmeyer se agregan 30 ml de extractante hidróxido de sodio (NaOH), se lleva a una plancha de calentamiento y se hierve agua destilada a una temperatura de 81°C una vez que llega a esta temperatura se



introduce el Erlenmeyer (baño maría) por 30 min y agitar cada 10 min aprox., pasados los 30min agregar 1g el sulfato de sodio (Na_2SO_4), una vez agregados el Na_2SO_4 se enfría en una solución de agua fría con hielo, una vez enfriado se envasa en tubos de 50 ml y se centrifuga a 11,000 rpm en una centrifugadora, una vez centrifugado por 15 min se habrá separado la humina y el ácido húmico con el ácido fúlvico estas juntos todavía, decantar en un Erlenmeyer la solución de ácido húmico y el ácido fúlvico, para separar esta solución se acidifica con ácido sulfúrico (H_2SO_4) para que el ácido húmico se suspenda en la solución de ácido fúlvico, después de 30 min se suspende el ácido húmico y se procede a filtrar con el filtro toyo roshi N° 5C para que el ácido húmico se filtre y se pueda separar adecuadamente al momento de lavar con hidróxido de sodio.

Una vez echo estos pasos se procede a titular las sustancias húmicas por el método Walkley and Black y ya para finalizar se calcula el % de CO en las sustancias húmicas con la siguiente formula:

Fórmula para la determinación de CO en las fracciones húmicas.

$$CO(AH, AF \text{ y } Hn) = \frac{(mL \text{ Blanco} - mL \text{ Muestra})(NFe^{+2})(0.003)(100)}{PM}$$

Donde:

C = Carbono Orgánico

mL Muestra = Gasto de sulfato ferroso de la muestra

mL Blanco = Gasto de sulfato ferroso del blanco

NFe+2 = Normalidad de la solución Fe+2

0.003 = Peso miliequivalente del carbono (12/4000)

Tabla 42.

Contenido de ácido húmico ácido fúlvico y humina en 3 diferentes órdenes.

Orden	AH %	AF %	Hn %	MgC.ha ⁻¹	MgC.ha ⁻¹	MgC.ha ⁻¹
				AH	AF	Hn
Entisol	3.60	1.80	0.90	4.3	2.1	1.1
Entisol	2.50	1.60	3.00	3.0	1.9	3.6
Entisol	1.00	1.80	1.50	2.1	3.8	3.2
Entisol	1.50	0.60	1.50	1.9	0.8	1.9
Inceptisol	4.00	2.00	3.00	5.6	2.8	4.2
Inceptisol	4.50	2.50	3.50	6.3	3.5	4.9
Inceptisol	4.50	2.50	5.30	3.8	2.1	4.5
Inceptisol	3.00	1.20	3.30	4.4	1.7	4.8
Inceptisol	3.60	1.80	3.00	6.2	3.1	5.2
Inceptisol	4.60	3.00	5.00	3.9	2.5	4.2
Inceptisol	5.50	4.00	5.50	3.4	2.5	3.4
Inceptisol	4.10	3.50	1.50	8.7	7.4	3.2
Inceptisol	4.00	4.00	4.10	4.3	4.3	4.4
Inceptisol	2.70	1.00	3.20	7.1	2.6	8.4
Mollisol	5.50	3.00	4.50	12.5	6.8	10.2
Mollisol	6.00	4.50	4.00	8.5	6.4	5.7

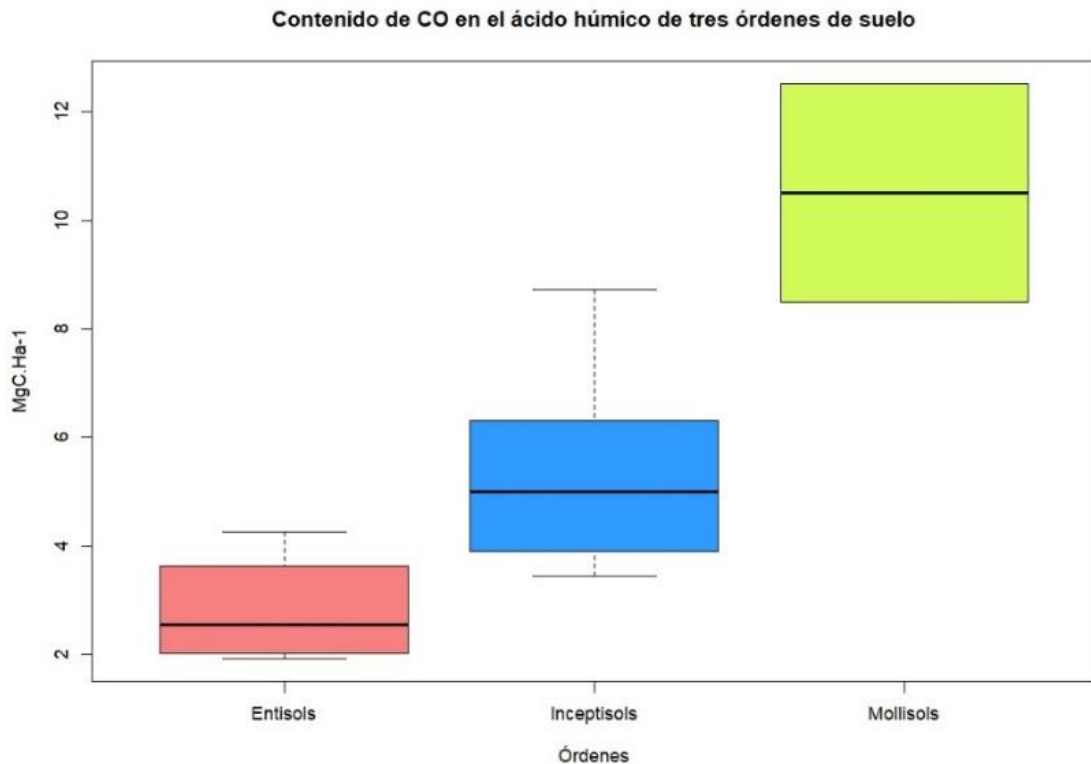
Nota: Elaboración propia

En la tabla 41, se exponen los datos que se obtuvieron en la etapa de laboratorio, se estima el porcentaje de CO de la fracción de ácido húmico (AH%), porcentaje de CO de la fracción de ácido fúlvico (AF%) y el porcentaje de CO de la fracción de huminas, además se calculó el contenido de CO en megagramos de carbono por hectárea (MgC.ha⁻¹) para cada una de las fracciones.

4.3.2. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción del ácido húmico

Figura 5.

Diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo del (AH)



Nota: Elaboración propia

En el diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo del (AH) (Figura 5), el orden Entisol cuenta con una mediana de 2.6 MgC.ha⁻¹ (línea negra que parte al boxplot), además cuenta con un mínimo de 1.9 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 4.3 MgC.ha⁻¹, podemos indicar que la línea de la mediana se desplaza ligeramente hacia la parte inferior para el orden Entisol esto nos indica que la mayoría de datos son mayores que la mediana. El orden Inceptisol cuenta con una mediana de 5.0 MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 3.4 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 8.7 MgC.ha⁻¹. El orden Mollisol cuenta con una mediana de 10.5

MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 8.5 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 12.5 MgC.ha⁻¹.

En el diagrama de boxplot (Figura 5), podemos decir que hay diferencia en los ácidos húmicos en el contenido de CO, para el orden Entisol cuenta con una baja cantidad de CO a comparación del orden Inceptisol, pero si compramos el orden Mollisol con el orden Inceptisol podemos decir que el Inceptisol cuenta con una mediana cantidad de CO y el orden Mollisol a comparación de los demás órdenes tiene más cantidad de CO en el ácido húmico.

4.3.3. Interpretación de análisis de varianza (AVOVA) y comparación de medias del CO en la fracción del ácido húmico

Tabla 43.

Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción del ácido húmico.

	GL	S.C.	C.M.	Valor F	P - valor
Orden	2	78.65	39.32	13.58	0.0006 *
Error	13	37.64	2.90		
Total	15				

Nota: Elaboración propia, *p < 0.05

De acuerdo al análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción de AH, (Tabla 45), se nos indica que el valor F es de 13.58 y un nivel de P-valor 0.0006 el cual es significativo al $p < 0.05$ esto nos dice que existe deferencia significativa al nivel de los órdenes de suelo en el contenido de CO en la fracción de AH.



Tabla 44.

Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de ácido húmico en tres órdenes de suelo.

	Inceptisol	Entisol
Mollisol	0.004 *	0.0004 *
Inceptisol		0.05 ns

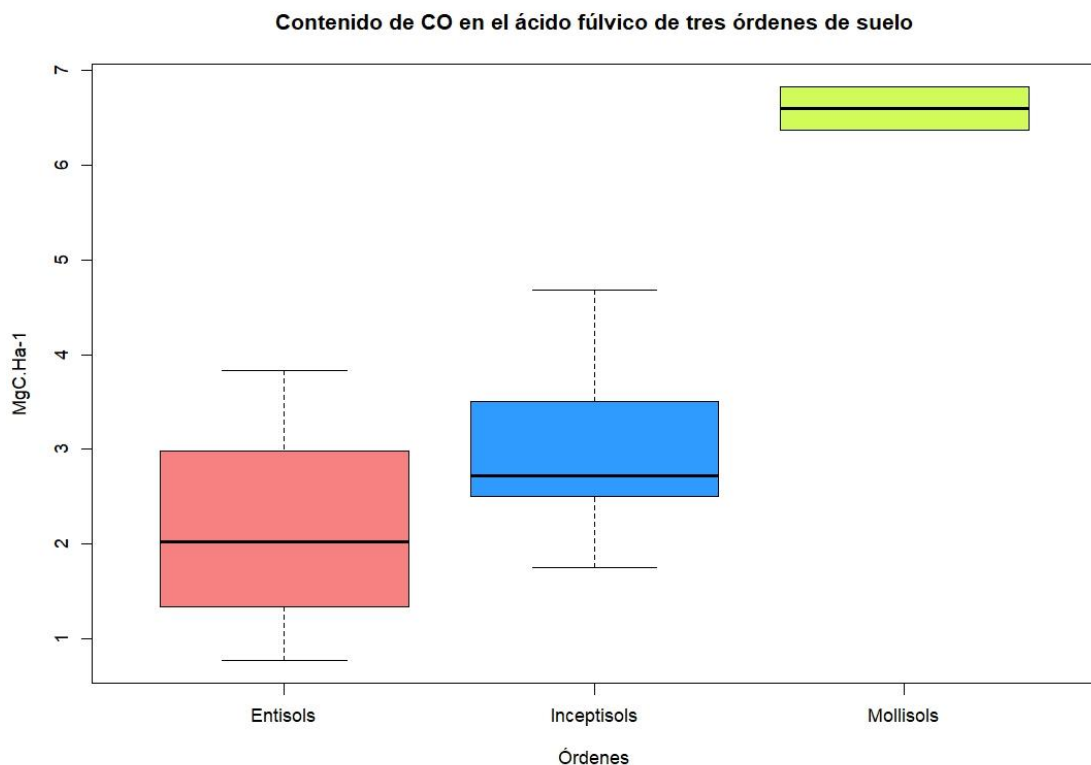
Nota: Elaboración propia, Ns: no significativo, * $p < 0.05$

En la comparación de medias de CO en la fracción de ácido húmico (Tabla 46), podemos decir que al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Inceptisol tiene un p-valor de 0.004 es cual es significativo, teniendo un contenido de CO mayor el orden Mollisol, al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Entisol contamos con un p-valor de 0.0004 el cual es significativo al 0.05 para el orden Mollisol y al comprar el contenido de CO del orden Inceptisol con el orden Entisol se obtuvo un p-valor 0.05 es cual no es significativo ya que la dispersión de datos de los dos órdenes de suelo son similares al contenido de CO, pero podemos decir que las medias de contenido de carbono orgánico son diferentes ya que el orden Inceptisol cuenta con una mayor contenido de CO en la fracción de ácido húmico.

4.3.4. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción de ácido fúlvico

Figura 6.

Diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo de la fracción de ácido fúlvico (AF).



Nota: Elaboración propia

En el diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo del (AF) (Figura 6), el orden Entisol cuenta con una mediana de 2.0 MgC.ha⁻¹ (línea negra que parte al box plot), además cuenta con un mínimo de 0.8 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 3.8 MgC.ha⁻¹. El orden Inceptisol cuenta con una mediana de 2.7 MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 1.7 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 4.7 MgC.ha⁻¹. El orden Mollisol cuenta con una mediana de 6.6 MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 6.4 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 6.8 MgC.ha⁻¹.

En el diagrama de boxplot (Figura 6), podemos decir que hay diferencia en los ácidos fúlvicos en el contenido de CO, al comprar el orden Entisol con el orden Inceptisol podemos decir que la mediana del Inceptisol está dentro de la dispersión de datos del contenido de CO del orden Entisol lo que nos indica que son similares, pero al comparar el Mollisol con los dos órdenes de suelo podemos decir que este orden tiene mayor contenido de CO en la fracción de ácido fúlvico.

4.3.5. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en la fracción de ácido fúlvico

Tabla 45.

Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción del ácido fúlvico.

	GL	S.C.	C.M.	Valor F	P - valor
Orden	2	27.81	13.903	14.28	0.00052 *
Error	13	12.66	0.974		
Total	15	40.47			

Nota: Elaboración propia, * $p < 0.05$

De acuerdo al análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción de AF, (Tabla 45), el valor F es 14.28 y la significancia del P-valor es 0.0005 el valor de la significancia es menor al 0.05, existe diferencia significativa en las medias del contenido de CO por la diferencia de órdenes de suelo y estadísticamente son diferente.



Tabla 46.

Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de ácido fúlvico en tres órdenes de suelo.

	Inceptisol	Entisol
Mollisol	0.001 *	0.0004 *
Inceptisol		0.35 ns

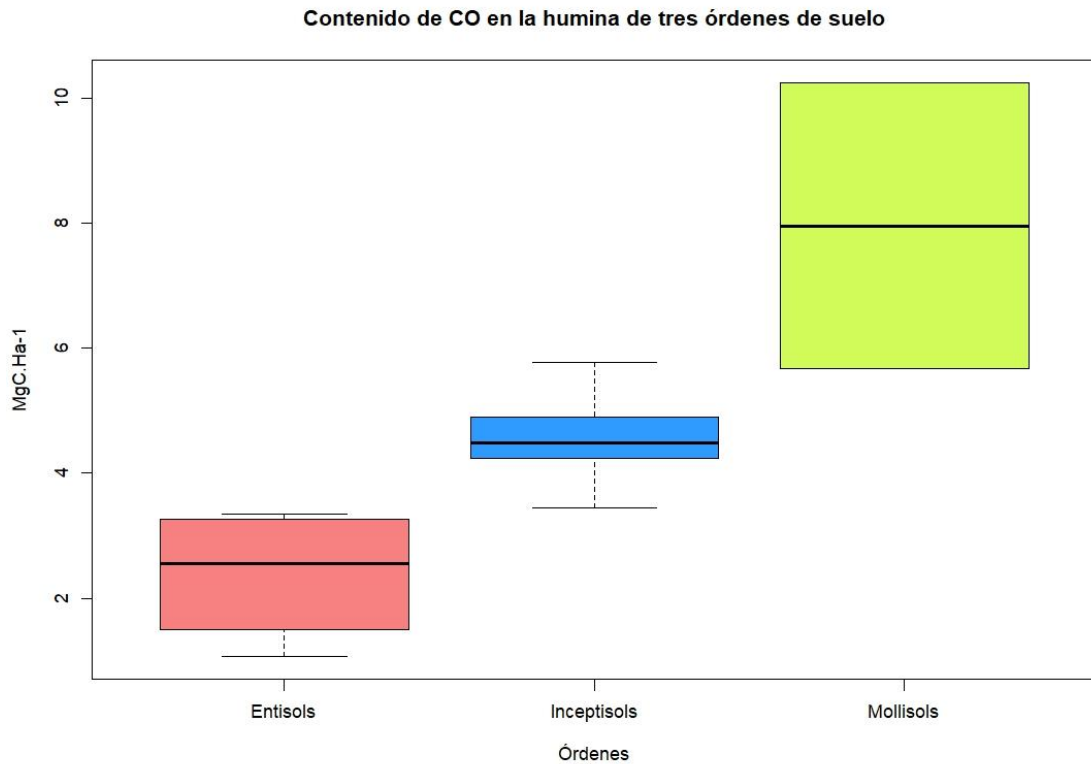
Nota: Elaboración propia, NS: no significativo, * $p < 0.05$

En la comparación de medias de CO en la fracción de ácido fúlvico (Tabla 48), podemos decir que al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Inceptisol tiene un p-valor de 0.001 es cual es significativo, teniendo un contenido de CO mayor el orden Mollisol, al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Entisol contamos con un p-valor de 0.0004 el cual es significativo al 0.05, y al comprar el contenido de CO del orden Inceptisol con el orden Entisol se obtuvo un p-valor 0.35 el cual no es significativo ya que la dispersión de datos de los dos órdenes de suelo son similares al contenido de CO.

4.3.6. Interpretación de diagrama de boxplot del CO en las huminas

Figura 7.

Diagrama de boxplot de contenido de CO de las huminas



Nota: Elaboración propia

En el diagrama de boxplot de contenido de CO en los órdenes de suelo de la (Hn) (Figura 7), el orden Entisol cuenta con una mediana de 2.6 MgC.ha⁻¹ (línea negra que parte al box plot), además cuenta con un mínimo de 1.1 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 3.3 MgC.ha⁻¹. EL orden Inceptisol cuenta con una mediana de 4.5 MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 3.4 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 5.8 MgC.ha⁻¹. El orden Mollisol cuenta con una mediana de 8.0 MgC.ha⁻¹, además cuenta con un mínimo de 5.7 MgC.ha⁻¹ y un máximo de 10.2 MgC.ha⁻¹.

En el diagrama de boxplot (Figura 7), podemos decir que hay diferencia en la huminas en el contenido de CO, para el orden Entisol cuenta con una baja cantidad de CO a comparación del orden Inceptisol, pero si compramos el orden Mollisol con el orden Inceptiol podemos decir que el Inceptisol cuenta con una mediana cantidad de CO y el orden Mollisol a comparación de los demás órdenes tiene más cantidad de CO en la humina.

4.3.7. Interpretación de análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias del CO en la fracción de humina

Tabla 47.

Análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción de humina.

	GL	S.C.	C.M.	Valor F	P - valor
Orden	2	41.72	20.858	15.01	0.0004 **
Error	13	18.06	1.389		
Total					

Nota: Elaboración propia, * $p < 0.05$

De acuerdo al análisis de ANOVA del contenido de CO en la fracción de la Hn, (Tabla 49), se nos indica que el valor F es de 15.01 y un nivel de P-valor 0.0004 el cual es altamente significativo al $p < 0.05$ esto nos dice que existe deferencia significativa al nivel de los órdenes de suelo en el contenido de CO en la fracción de Hn.

Tabla 48.

Comparación de medias de carbono orgánico (CO) en la fracción de humina en tres órdenes de suelo.

	Inceptisol	Entisol
Mollisol	0.006 **	0.0003 **
Inceptisol		0.02 *

Nota: Elaboración propia, *p < 0.05

En la comparación de medias de CO en la fracción de la humina (Tabla 50), podemos decir que al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Inceptisol tiene un p-valor de 0.006 es cual es altamente significativo, teniendo un contenido de CO mayor el orden Mollisol, al comparar las medias del contenido de CO del orden Mollisol – Entisol contamos con un p-valor de 0.0004 el cual es significativo al 0.05 para el orden Mollisol y al comprar el contenido de CO del orden Inceptisol con el orden Entisol se obtuvo un p-valor 0.02 es cual es significativo ya que no supera al 0.05, teniendo una diferencia significativa para todos los órdenes de suelo en el contenido de CO de la fracción humina.

En otros estudios realizados en cuantificación de CO en las sustancias húmicas se encontró que Benchekroun, (2009), menciona que el contenido de CO en la fracciones orgánicas son casi similares, además en la fracción de la humina (4,49 %) el contenido de CO es elevado, en la fracción de ácido húmico (3,17 %) no parece haber mucha diferencia, en la fracción de ácido fúlvico (6.50 %) si se nota que hay una elevada concentración de CO.

Dávila, (2002), menciona que los huminas en los órdenes Andisol cuentan con un 4,2 % de humina y a su vez cuenta con el orden Oxisol con una 0,91 %, y



además hace una comparación entre estos dos órdenes de suelo ya que el orden Andisol tiene una mayor cantidad de humina, la concentración de ácido húmico en el orden Andisol es 2.36 % y para el orden Oxisol tiene 1.08 % de ácido húmico. En cuanto al ácido fúlvico para el orden Andisol cuenta 1.28 % y para el orden Oxisol 1.56 %, al hacer una comparación para el orden Andisol las huminas cuentan con más concentración y para el orden Oxisol el ácido fúlvico cuenta con más presencia a nivel de las sustancias orgánicas.

Duchaufour, (1976), menciona que el contenido de ácido fúlvico es de 4.38 % a su vez menciona que hay una menor cantidad de ácido húmico y huminas esto se debe a la disminución de las propiedades coloidales después de la sustitución de la vegetación autóctona, en los datos encontrados al fraccionar la materia orgánica el orden Inceptisol cuenta con porcentaje de ácido húmico de 4.50 ± 2.70 % esto se puede deber a que existe materia orgánica en proceso de transformación.

Sardon, (2021), realizó la comparación del carbono orgánico (CO) del ácido húmico y ácido fúlvico, en cinco órdenes de suelo. Los resultados fueron que el orden Aridisol cuenta con 0.15 % en el contenido de AH con respecto a los órdenes Entisol (0.05 ± 1.00 %), Histosol (11.00 ± 2.10 %), Inceptisols (4.50 ± 0.20 %) y Mollisol (5.25 ± 0.15 %), con respecto al contenido de AF en los órdenes Aridisol (0.05 ± 0.20 %), Entisol (0.05 ± 1.50 %), Histosol (0.30 ± 3.50 %), Inceptisols (0.20 ± 1.00 %) y Mollisol (0.35 ± 1.50 %); en el caso del estudio se encontró el porcentaje de AH% para los órdenes Entisol (3.60 ± 1.00 %), Inceptisol (4.50 ± 2.70) y Mollisol (6.00 ± 5.50); estos valores encontrados son en el estudio son diferentes esto se puede deber a el tipo de suelo, geología, temperatura, actividad microbiana y el contenido de MO.



V. CONCLUSIONES

- Los resultados de la delimitación y clasificación de suelos son los siguientes: los suelos Ichu, Tipico y Simple fueron clasificados como Entisol. Además, los suelos Vista, Neblina, Fino, Santiago, Rojo, Sara Cocha y Enterrado fueron clasificados como Inceptisol, mientras que el suelo Sapo fue clasificado como Mollisol. Este último presenta un epipedón móllico de color negro (10YR 2/1) y un contenido alto en carbono orgánico.
- En la determinación de carbono orgánico total (COT) de las fracciones húmicas, el orden Mollisol destaca con un contenido de COT de 25.1 MgC.ha⁻¹ además es diferente a los órdenes Entisol (8.0 MgC.ha⁻¹) e Inceptisol (12.9 MgC.ha⁻¹).
- Finalmente, para la cuantificación de CO de las sustancias húmicas se realizó el fraccionamiento de la materia orgánica, donde el orden Mollisol tiene 10.5 MgC.ha⁻¹ de AH, 6.6 MgC.ha⁻¹ de AF y 8.0 MgC.ha⁻¹ de Hn, por tanto, el orden Mollisol supera a los demás ordenes de suelo en las fracciones húmicas.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una planificación pecuaria, tomando en cuenta la cartografía de suelos realizada en la investigación, además considerar los análisis de caracterización para los diferentes tipos de suelo que se identificaron y continuar con la realización del estudio de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor con la finalidad de conocer las limitaciones y manejo de dichas tierras.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del fraccionamiento de la materia orgánica, se recomienda conservar el suelo del orden Mollisol ya que cuenta con una gran cantidad de CO, para los órdenes Entisol e Inceptisol se recomienda mejorar la cobertura vegetal con algunas gramíneas (dactilis y rye grass italiano o inglés), para así incrementar el almacenamiento de CO.
- Finalmente, en los suelos con menor cantidad de carbono orgánico (Entisol e Inceptisol), se recomienda realizar prácticas de manejo de suelos como zanjas de infiltración con el fin de aumentar la humedad y temperatura del suelo, además, mejorar el crecimiento de la vegetación y promover la actividad microbiana para aumentar la captura de CO.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Arias, H. (2011). *Biomasa sobre el suelos y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la península de osa, Costa Rica.*
- Ayala, F. (2018). *Flujos Y Almcanes de Carbono Edáfico en un Ecosistema Árido del noroeste de México: Un Enfoque Multiescalar.* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Benckroun, A. (2009). *Cultivo de hortícolas: ensayo de variedades. Influencia del uso y manejo del suelo: Agregación, erosionabilidad y fracción orgánica.*
<https://riunet.upv.es:443/handle/10251/116493>
- BERMEO, J., & Correa, M. (2020). *DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO ANDINO DE ICHUBAMBA Y GUARGUALLA, PARROQUIA CEBADAS.*
- Burbano, H. (2018). *El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático.* 3. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Camargo, M., & Luis, C. (1999). *Sustancias Húmicas en Aguas Para.*
- Carreira, D. (2004). *CARBONO ORGÁNICO (Método de WALKLEY & BLACK).* *Ciencias Ambientales*, 4.
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda a 2010/000003_Ing. Agr. Daniel Carreira \(Carbono oxidable y Nitrógeno\)/000008_Carbono oxidable -Método de Walkley&Black- y en Nitrógeno Kjeldahl \(Ing. Agr. Daniel Carreira\).](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%20a%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno)/000008_Carbono%20oxidable%20-%C3%82M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira).)
- Cerisola, C. (2015). *Manejo y Conservación de suelos Agrícolas.*
- Contreras, J. L., Martínez Atencia, J., Cadena-Torres, J., & Falla Guzmán, C. K. (2019). *Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano.* *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29–41.
<https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>
- Dávila, R. (2002). *CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE ÁCIDOS FÚLVICOS DE*



DOS SUELOS COLOMBIANOS (Andiol de Cauca y Oxisol de Amazonas).

- Duchaufour, P. (1976). *Dynamics of organic matter in soil of temperature regions.*
- FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 96. In *Fao*.
http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c96h5Q4W_qU0xBHu dD4IqchYyc
- Fernández, M. (2019). Cuantificación de carbono orgánico acumulado en el suelo de turberas de alto Perú en Cajamarca-2019. *Ucv*, 358.
- Gallardo Lancho, J. F. (2016). *LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono.*
<https://doi.org/10.1590/s0006-87052010000400018>
- Garay Schiebelbein, M. M. (2015). *Secuestro de carbono y patrón vertical de propiedades químicas en Mollisoles forestados con Pinus radiata.*
https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil_wars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- González-Molina, L., Carrillo-Anzures, F., Acosta-Mireles, M., Baéz-Pérez, A., Espitia-Rangel, E., Etchevers-Barra, J., & Paz-Pellat, F. (2022). Experiencia mexicana en la implementación del modelo RothC-26.3 de la dinámica del carbono orgánico en suelos: alcances y limitaciones. *Terra Latinoamericana*, 40, 1–23.
<https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1386>
- Herrera Mosquera, M. C. (2017). *Estimación del contenido de carbono en suelos con diferentes usos en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.* 1–39.
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6041/1/IAD-2017-017.pdf>
- Izurieta, J. (2019). *Mapeo digital de carbono orgánico del suelo mediante imágenes satelitales y algoritmos de autoaprendizaje en el ecosistema herbazal del páramo, provincia de Chimborazo, Ecuador.* Universidad Nacional de La Plata



(UNLP).

- Jara, E. (2023). *Impacto del cambio climático sobre el carbono orgánico del suelo en la microcuenca Cojup – Áncash, entre el periodo 2021-2099.*
- Llanos Sánchez, E. P., & Escandón Escandón, J. C. (2016). *Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute.*
- López, R., González-Cervantes, G., Vázquez-Alvarado, R. E., Olivares-Sáenz, E., Vidales-Contreras, J. A., Carranza de la Rosa, R., & Ortega-Escobar, M. (2018). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1397–1407. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i8.1094>
- Maldonado-González, F., González-García, F., & Jiménez-Tejada, M. P. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 4(3), 442–460. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i3.04
- Marínez, E., Fuentes, P., & Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo.* <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Martínez, E., Juan Pablo Fuentes, E., & Edmundo Acevedo, H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutricion Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Mendoza, A. (2023). *Caracterización de la MOS mediante el uso de la espectroscopia de infrarrojo y análisis multivariado para la reconstrucción de la línea de árboles.*
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). Reglamento de Clasificación de tierras por su Capacidad de Uso Mayor. Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI.
- MINAGRI. (2010). *D.S. N° 13-2010-AG Reglamento para ejecución de levantamiento de suelo* (p. 26).



<https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf>

- Montoya, J. C., Flores, J. C. M., & Del Socorro Bravo Realpe, I. (2013). Fraccionamiento y cuantificación de la materia orgánica en andisoles bajo diferentes sistemas de producción. *Acta Agronomica*, 62(4), 333–343.
- Moya Sucari, R. P. (2024). CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA – INIA, REGIÓN PUNO. *Tesis*, 1–109.
- NINA, D. J. M. (2023). CARACTERIZACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA – INIA, REGIÓN PUNO. In *Tesis*.
- ONERN. (1979). *Estudio Semi-Detallado De Suelos Y Zonificacion Climática De Cultivos Del Valle Cabanillas Y Pampa De Juliaca*. 2066.
- Pari Mamani, R. (2021). *Evaluación del contenido de carbono orgánico del suelo en la región andina de Bolivia*. 3.
- Pineda-ruiz, E., González-hidalgo, M., & Ortiz, M. D. L. (2023). *Variación del carbono orgánico en suelo Pardo mullido carbonatado monocultivado con caña de azúcar durante 35 años en Cuba Organic carbon variation in sugarcane cropping Pardo mullido carbonatado soil during 35 years in Cuba*. 13(1), 35–40.
- Ramírez, S., Ramírez, M. I., López, P. F., & Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biósfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(1), 157–173. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.042>
- Ramos, R. (2000). Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulantes. Efectos frente al estrés salino. *Facultad de Ciencias, Tesis de D*, 1–54. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10018/1/Ramos-Ruiz-Roberto.pdf>
- Realpe, I. D. S. B., Pardo, C. A. A., & Peinado, F. J. M. (2014). *Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de*



cadmio en sistemas altoandinos de Colombia.

<https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39569>

Reinoso Torres, D. (2020). Influencia De La Cobertura Vegetal Y Relieve Sobre El Almacenamiento De Carbono En El Suelo Del Ecosistema Páramo. *Universidad Tecnica de Ambato*, 130.

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>

Rodriguez, H. L. (2014). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y Guaba), en diferentes altitudes del sector Bolson Cuchara - Tingo Maria.*

SALES, B. E. (2006). *CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS REPRESENTATIVOS DE ECOSISTEMAS AMAZÓNICOS DEL PERÚ, DEPARTAMENTO DE UCAYALI, E INFLUENCIA DE SU USO Y MANEJO EN EL SECUESTRO DEL CARBONO.* 162.

Sánchez, R. (2016). *Evaluación del contenido de carbono almacenado en diferentes usos del suelo en las micro cuencas Tecomapa, Somotillo y Río Pire, Condega, Nicaragua 2013-2014.* UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA.

Sanchez, D. V. (2016). Dinámica Del Carbono Orgánico En Suelos De Sistemas Agroforestales Cafeteros En Tibacuy, Cundinamarca. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.

Sardón, S., Zapata, R., & Arias, L. (2021). Comparison of organic carbon from humic and fulvic acids and the degree of

humification in five soil orders. *Peruvian Journal of Agronomy*, 5(1), 25–34.

<http://dx.doi.org/10.21704/pja.v5i1.1676>

Sardón, S. (2019). *Factores morfoclimáticos favorables para la preservación del carbono orgánico humificado en suelos de montaña, San Rafael (Perú).* 72.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75591/118797483.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segura, M., Sánchez, P., Ortiz, C., & Gutiérrez, M. (2005). Carbono orgánico de los



- suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23(enero-marzo), 21–28.
- Silva, A. (2005). LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO. *Ciencia Del Suelo*.
- Soil Survey Staff. (2022). Keys to Soil Taxonomy, 13th edition (13th ed.). Natural Resources Conservation Service.
- Vargas-Larreta, B., Rojas, M. A., López-Martínez, J. O., Cueto-Wong, J. A., Cruz-Cobos, F., Nájera-Luna, J. A., & Aguirre-Calderón, C. G. (2022). Estimating soil organic carbon stocks in three temperate forest types in Durango, Mexico. *Botanical Sciences*, 101(1), 90–101. <https://doi.org/10.17129/botsci.3094>
- Vásquez, J. R. (2014). Contenido, formas y mecanismos de estabilidad del carbono orgánico en suelos del departamento del Magdalena (Colombia), bajo diferentes tipos de usos del suelo [Universidad Santiago de Compostela]. In *Implementation Science*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>
- Velarde, K. (2017). *RESPUESTA DE ENMIENDAS HÚMICAS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE BULBO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA AMARILLA VAR. CENTURY (Allium cepa L.) EN LA ZONA DE EL PEDREGAL*. 1–130.
- Velázquez-Rodríguez, A. S., Báez-Pérez, A., Hidalgo-Moreno, C., Parsa-Retana, M., Etchevers-Barra, J., & Paz-Pellat, F. (2022). Formación de suelos a partir de tepetates: unidades estructurales, carbono orgánico y estabilidad estructural. *Terra Latinoamericana*, 40, 1–19. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1447>
- Veobides, H., Guridi, F., & Vázquez, V. (2018). Las Sustancias Húmicas como Bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400015&lng=en&nrm=iso&tlng=es<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193105799>
- Villegas G., V. A. (2014). Variación del carbono orgánico en suelos del altiplano Potocino oeste. *Implementation Science*, 39(1).



<http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577><http://>

VINUEZA, L. (2015). *Determinación del contenido de carbono en el suelo en una plantación de pino (Pinus radiata D. Don) implemetada en el páramo en la comunidad de Totoras, Cantón alausí, provincia de Chimborazo.*

ZINCK, A. (1987). *Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas.* Bogotá.

Figura 9.

Mapa de clasificación de suelo (Soil Taxonomi)

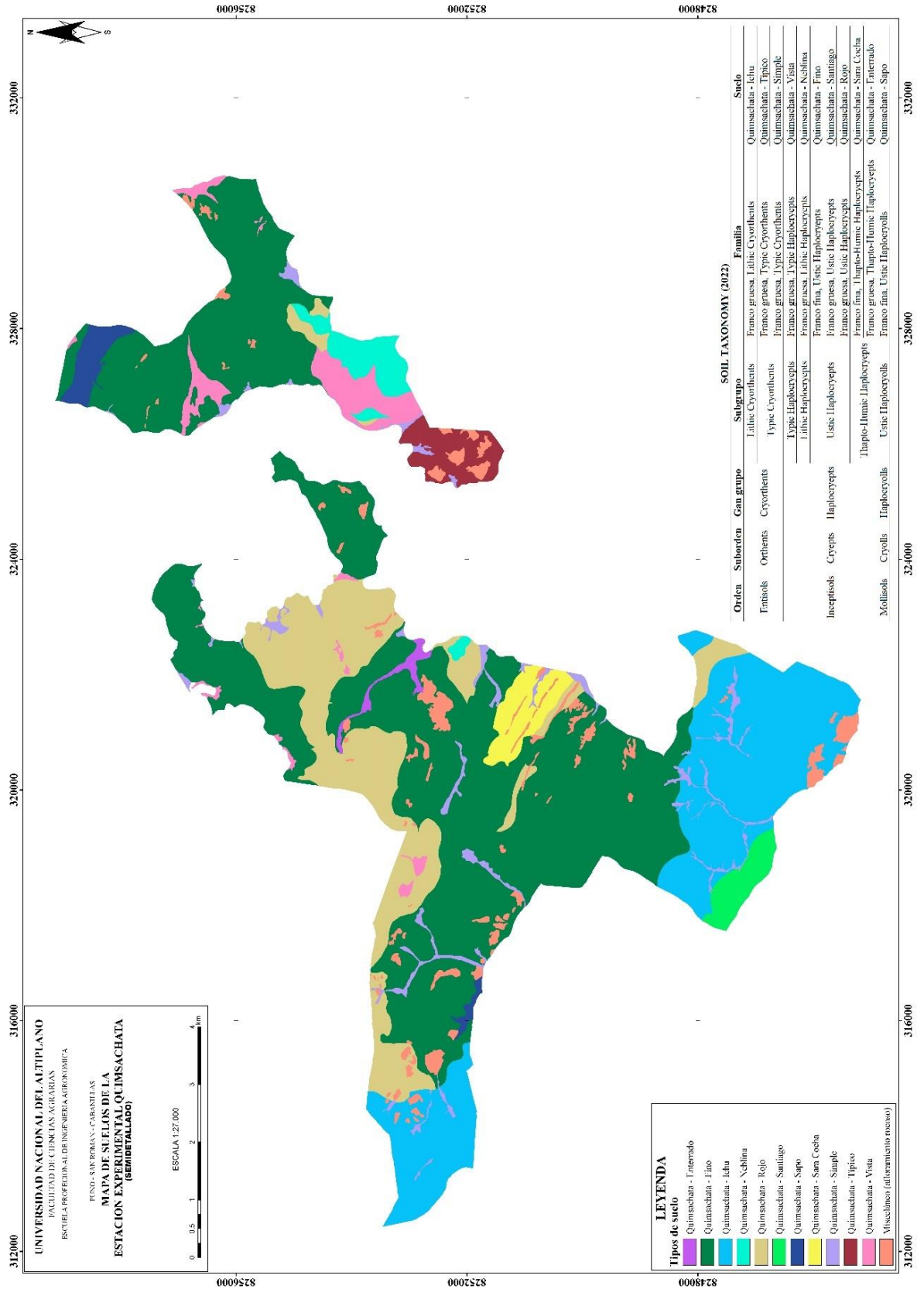


Tabla 49.*Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 10*

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 10		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 50' 14,323" Latitud Sur, 70° 41' 48,070" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 318299, Norte: 8248325
Altitud	:	4427 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Ichu
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Lítico Cryorthents
Material parental	:	Andesita
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	25-50 %
Vegetación	:	Ichu
Pedregosidad superficial	:	15% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-10	Franco limoso; pardo oscuro (7.5YR 3/3), en húmedo; granular, fina, debil; muy friable; Neutro (pH 7.3); contenido de materia orgánica (0.10%); gravas subredondeadas en un 10%; raíces finas, medias, comunes. Límite de horizonte gradual suave al
C1	10-24	Franco arenoso; pardo (7.5YR 4/3), en húmedo; masivo; friable; moderadamente ácido (pH 5.7); contenido de materia orgánica (0.24%); guijarros subredondeadas en un 1%; raíces finas, pocas. Límite de horizonte gradual suave al
C2	24-40	Franco arenoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; masivo; suelto; ligeramente ácido (pH 7.3); contenido de materia orgánica (0.31%); guijarros subredondeadas en un 15%.

Figura 10.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 10) suelo Quimsachata - Ichu



Figura 11.

Perfil de suelo (calicata 10) suelo Quimsachata - Ichu



Tabla 50.*Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 04*

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 04		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 48' 6,635" Latitud Sur, 70° 37' 38,053" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 325708, Norte: 8252309
Altitud	:	4425 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Típico
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Typic Cryorthents
Material parental	:	Andesita
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu
Pedregosidad superficial	:	35% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-11	Franco limoso; pardo oscuro (10YR 3/3), en húmedo; granular, fina, debil; suelto; moderadamente ácido (pH 6.0); contenido de materia orgánica (1.25%); raíces finas, medias, abundantes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte claro ondulado al
A2	11-32	Franco limoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; granular, fina, moderado; friable; ligeramente ácido (pH 6.2); contenido de materia orgánica (1.13%); raíces finas, medias, comunes; gravas subredondeadas en un 25%. Límite de horizonte gradual suave al
C1	32-76	Franco limoso; pardo (7.5YR 5/4), en húmedo; masivo; muy friable; neutro (pH 6.8); contenido de materia orgánica (0.03%); raíces finas, pocas; guijarros subredondeadas en un 50%. Límite de horizonte gradual ondulado al
C2	76-100	Franco limoso; pardo (7.5YR 4/4), en húmedo; masivo; friable; neutro (pH 7.2); contenido de materia orgánica (0.30%).

Figura 12.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 04) suelo Quimsachata - Típico



Figura 13.

Perfil de suelo (calicata 04) suelo Quimsachata - Típico



Tabla 51.*Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 35*

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 35		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 46' 39,296" Latitud Sur, 70° 35' 48,674" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 328943, Norte: 8255018
Altitud	:	4284 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Simple
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Typic Cryorthents
Material parental	:	Depósito coluvio-aluvial
Paisaje	:	Llanura
Unidad geomorfológica	:	Superficie llana
Pendiente	:	0-2 %
Vegetación	:	Ichu y canlli
Pedregosidad superficial	:	40% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-12	Franco arenoso; pardo oscuro rojizo (5YR 3/3), en húmedo; granular, fina, débil; suelto; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica (1.51%); raíces muy finas, finas, medias, abundantes; gravas subredondeadas en un 20%. Límite de horizonte gradual ondulado al
C1	12-38	Areno franca; pardo rojizo (5YR 4/3), en húmedo; masivo; suelto; masivo moderadamente alcalino (pH 8.2); contenido de materia orgánica (1.10%); raíces finas, medias, comunes; gravas subredondeadas en un 65%. Límite de horizonte gradual ondulado al
C2	38-73	Areno franca; gris oscuro (5YR 4/1), en húmedo; masivo; suelto; fuertemente alcalino (pH 8.5); contenido de materia orgánica (0.63%); raíces medias, pocas; gravas subredondeadas en un 60%. Límite de horizonte muy abrupto suave al
C3	73-95	Franco arenoso; gris oscuro (5YR 4/1), en húmedo; masivo; friable; moderadamente alcalino (pH 8.3); contenido de materia orgánica (0.20%); gravas subredondeadas en un 10%.

Figura 14.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 35) suelo Quimsachata - Simple



Figura 15.

Perfil de suelo (calicata 35) suelo Quimsachata - Simple



Tabla 52.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 27

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 27		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 47' 8.687" Latitud Sur, 70° 36' 44.339" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 327293, Norte: 8254102
Altitud	:	4329 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Vista
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa-Typic Haplocryepts
Material parental	:	Depósito coluvial
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu
Pedregosidad superficial	:	80% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-20	Franco arenoso; pardo muy oscuro (10YR 2/2), en húmedo; granular, fina, débil; suelto; fuertemente ácido (pH 5.5); contenido de materia orgánica (1.51%); raíces finas, medias, abundantes; gravas subredondeadas en un 45%. Límite de horizonte abrupto ondulado al
AB	20-37	Franco limoso; pardo amarillento oscuro (10YR 3/4), en húmedo; granular, media, moderada; muy friable; Ligeramente ácido (pH 6.3); contenido de materia orgánica (1.00%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 10%, guijarros subredondeadas en un 30%. Límite de horizonte claro ondulado al
Bw	37-52	Franco arenoso; pardo amarillento (10YR 5/4), en húmedo; bloques sub angulares, fina, débil ; neutro (pH 6.6); contenido de materia orgánica (0.50%); raíces muy finas, pocas; guijarros subredondeadas en un 20%. Límite de horizonte difuso suave al
C	52-85	Franco arenoso; pardo amarillento claro (2.5YR 6/4), en húmedo; masivo; friable; neutro (pH 6.9); contenido de materia orgánica (1.00%); guijarros subredondeadas en un 20%.

Figura 16.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 27) suelo Quimsachata - Vista



Figura 17.

Perfil de suelo (calicata 27) suelo Quimsachata - Vista



Tabla 53.*Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 08*

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 08		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 48' 10,444" Latitud Sur, 70° 39' 23,087" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 322583, Norte: 8252167
Altitud	:	4205 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Neblina
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Lítico Haplocryepts
Material parental	:	Diorita
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	25-50 %
Vegetación	:	Ichu, tola y canlly
Pedregosidad superficial	:	15% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-21	Franco limoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; Granular, muy fina, moderada; muy friable; Ligeramente alcalino (pH 7.6); contenido de materia orgánica (2.54%); raíces finas, medias, abundantes. Límite de horizonte gradual ondulado al
BC	21-30	Franco; pardo (10YR 4/3), en húmedo; Bloques sub angulares, fino, débil; Ligeramente alcalino (pH 7.8); contenido de materia orgánica (1.51%); raíces finas, comunes.
R	30-46	Roca

Figura 18.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 08) suelo Quimsachata - Neblina



Figura 19.

Perfil de suelo (calicata 08) suelo Quimsachata - Neblina



Tabla 54.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 14

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 14		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 48' 40,234" Latitud Sur, 70° 41' 27,157" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 318898, Norte: 8251222
Altitud	:	4454 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Fino
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco fina - Ustic Haplocryepts
Material parental	:	Conglomerados con clastos de ortocuarcita
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu
Pedregosidad superficial	:	20% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-7	Franco limoso; pardo muy rojizo (5YR 3/4), en húmedo; granular, fina, débil; muy friable; Ligeramente ácido (pH 6.2); contenido de materia orgánica (1.77%); raíces finas, medias, abundantes. Límite de horizonte gradual ondulado al
AB	7-18	Franco; pardo muy rojizo (5YR 2.5/2), en húmedo; granular, fina, moderada; friable; Neutro (pH 7.0); contenido de materia orgánica (1.51%); gravas subredondeadas en un 10%; raíces finas, medias, abundantes. Límite de horizonte abrupto suave al
Bw	18-55	Franco-Franco Arcilloso; pardo muy rojizo (2.5YR 3/4), en húmedo; bloques subangulares, media, fuerte; firme; moderadamente alcalino (pH 7.9); contenido de materia orgánica (1.41%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 30%. Límite de horizonte gradual ondulado al
BC	55-70	Franco limoso; pardo muy rojizo (2.5YR 3/4), en húmedo; bloques sub angulares, fina, fuerte; muy firme; moderadamente alcalino (pH 8.2); contenido de materia orgánica (1.37%); reacción fuertemente al ácido clorhídrico (6.55%); gravas subredondeadas en un 40%.

Figura 20.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 14) suelo Quimsachata - Fino



Figura 21.

Perfil de suelo (calicata 14) suelo Quimsachata - Fino



Tabla 55.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 05

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 05		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 50' 38,130" Latitud Sur, 70° 42' 2,725" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 317869, Norte: 8247590
Altitud	:	4450 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Santiago
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa -Ustic Haplocryepts
Material parental	:	Andesita
Paisaje	:	Colina
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu y canlli
Pedregosidad superficial	:	30% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-16	Franco limoso; pardo oscuro (10YR 3/3), en húmedo; granular, muy fina, débil; suelto; Moderadamente ácido (pH 5.6); contenido de materia orgánica (2.20%); raíces finas, comunes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte claro suave al
Bw	16-31	Franco; pardo (7.5YR 5/3), en húmedo; bloques sub angulares, fina, débil; friable; Ligeramente ácido (pH 6.1); contenido de materia orgánica (1.74%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte claro ondulado al
C	31-62	Franco arenoso; pardo grisáceo (10YR 5/2), en húmedo; masivo; friable; Neutro (pH 6.7); contenido de materia orgánica (0.03%); gravas subredondeadas en un 50%.

Figura 22.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 05) suelo Quimsachata - Santiago



Figura 23.

Perfil de suelo (calicata 05) suelo Quimsachata - Santiago



Tabla 56.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 37

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 37		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 47' 36,798" Latitud Sur, 70° 41' 36,100" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 318617, Norte: 8253170
Altitud	:	4512 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Rojo
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Ustic Haplocryepts
Material parental	:	Calizas
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Cima de montaña
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu
Pedregosidad superficial	:	25% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-8	Franco limoso; pardo oscuro rojizo (5YR 3/3), en húmedo; granular, fina, fuerte; muy firme; moderadamente ácido (pH 5.7); contenido de materia orgánica (1.77%); raíces finas, medias, abundantes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte abrupto ondulado al
Bw	8-23	Franco limoso; pardo oscuro rojizo (2.5YR 3/3), en húmedo; bloques subangulares, media, fuerte; firme; ligeramente ácido (pH 6.3); contenido de materia orgánica (1.00%); raíces, finas, comunes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte difuso ondulado al
C	23-65	Franco limoso; pardo rojizo (5YR 4/4), en húmedo; masivo; extremadamente firme; moderadamente alcalino (pH 8.2); contenido de materia orgánica (0.10%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 5%, guijarros subredondeadas en un 15%.

Figura 24.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 37) suelo Quimsachata - Rojo



Figura 25.

Perfil de suelo (calicata 37) suelo Quimsachata - Rojo



Tabla 57.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 18

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 18		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 49' 8,526" Latitud Sur, 70° 39' 48,312" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 321847, Norte: 8250376
Altitud	:	4208 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Sara Cocha
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco fina - Thapto-Humic Haplocryepts
Material parental	:	Areniscas cuarzosas gris
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	25-50 %
Vegetación	:	Ichu y ortiga
Pedregosidad superficial	:	40% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-5	Franco limoso; pardo oscuro (10YR 4/3), en húmedo; granular, muy fina, débil; muy friable; Ligeramente ácido (pH 6.1); contenido de materia orgánica (1.92%); raíces muy finas, finas, abundantes. Límite de horizonte gradual suave al
AB	5-22	Franco arenoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; granular, fina, débil; friable; Ligeramente ácido (pH 6.3); contenido de materia orgánica (1.95%); raíces muy finas, finas, abundantes; gravas subredondeadas en un 15%. Límite de horizonte claro ondulado al
Bw	22-32	Franco arenoso; pardo (10YR 5/3), en húmedo; bloques sub angulares, muy fina, débil; friable; Ligeramente ácido (pH 6.5); contenido de materia orgánica (2.00%); raíces finas, medias, comunes; gravas subredondeadas en un 30%. Límite de horizonte gradual ondulado al
Ab	32-70	Franco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en húmedo; granular, fino, débil; friable; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica (2.10%); raíces finas, medias, pocas; gravas subredondeadas en un 10%; guijarros subredondeadas en un 20%.

Figura 26.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 18) suelo Quimsachata - Sara Cocha



Figura 27.

Perfil de suelo (calicata 18) suelo Quimsachata - Sara Cocha



Tabla 58.*Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 19*

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 19		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 47' 49,060" Latitud Sur, 70° 39' 29,912" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 322375, Norte: 8252823
Altitud	:	4162 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Enterrado
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Thapto-Humic Haplocryepts
Material parental	:	Depósito coluvio-aluvial
Paisaje	:	Llanura
Unidad geomorfológica	:	Superficie llana
Pendiente	:	2-4%
Vegetación	:	Ichu, ortiga, césped y tola
Pedregosidad superficial	:	10% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-9	Franco limoso; pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3), en húmedo; granular, fina, moderada; friable; Ligeramente ácido (pH 6.5); contenido de materia orgánica (1.38%); raíces finas, medias, gruesas abundantes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte gradual ondulado al
AB	9-30	Franco limoso; pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3), en húmedo; granular, media, moderada; friable; Ligeramente ácido (pH 6.5); contenido de materia orgánica (1.33%); raíces finas, medias, comunes; gravas subredondeadas en un 5%. Límite de horizonte gradual ondulado al
Bw	30-45	Franco limoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; muy friable; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica (1.00%); raíces finas, medias, comunes. Límite de horizonte muy abrupto suave al
C1	45-51	Franco arenoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; masivo; firme; moderadamente alcalino (pH 7.9); contenido de materia orgánica (0.74%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 35%. Límite de horizonte abrupto ondulado al
C2	51-80	Franco limoso; pardo (10YR 4/3), en húmedo; masivo; muy friable; moderadamente alcalino (pH 8.1); contenido de materia orgánica (0.74%); raíces finas, pocas. Límite de horizonte gradual ondulado al
Ab	80-100	Franco limoso; pardo muy oscuro (10YR 2/2), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; friable; Moderadamente alcalino (pH 8.0); contenido de materia orgánica (2.28%); raíces finas, pocas.

Figura 28.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 19) suelo Quimsachata - Enterrado



Figura 29.

Perfil de suelo (calicata 19) suelo Quimsachata - Enterrado



Tabla 59.

Descripción del perfil de suelo de la calicata N° 28

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE LA CALICATA N° 28		
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Lugar	:	Centro Experimental Quimsachata – INIA
Distrito	:	Cabanillas
Provincia	:	San Román
Departamento	:	Puno
Coordenadas geográficas	:	15° 47' 49,060" Latitud Sur, 70° 39' 29,912" Longitud oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 322375, Norte: 8252823
Altitud	:	4162 m.s.n.m.
Suelo	:	Quimsachata - Sapo
Clasificación natural	:	Soil Taxonomy (2022): Franco gruesa - Thapto-Humic Haplocryepts
Material parental	:	Conglomerados polimicticos
Paisaje	:	Montaña
Unidad geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15-25 %
Vegetación	:	Ichu, ortiga, césped y tola
Pedregosidad superficial	:	10% de pedregosidad
Zona de vida	:	Páramo muy húmedo subalpino subtropical
Descrito y elaborado por	:	Franklin Millward Aduviri Yucra
DESCRIPCIÓN DEL PERFIL		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-24	Franco limoso; negro (10YR 2/1), en húmedo; granular, fina, débil; suelto; ligeramente ácido (pH 6.3); contenido de materia orgánica (2.28%); raíces finas, comunes; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte gradual suave al
A2	24-38	Franco; negro (10YR 2/1), en húmedo; granular, media, moderada; friable; ligeramente ácido (pH 6.4); contenido de materia orgánica (1.43%); raíces finas, pocas; gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte gradual suave al
Bw	38-51	Franco-Franco Arcilloso; negro (10YR 2/1), en húmedo; bloques subangulares, fina, moderada; firme; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica (1.51%); gravas subredondeadas en un 10%. Límite de horizonte abrupto suave al
C	51-87	Franco; pardo oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo; masivo; muy firme; neutro (pH 7.0); contenido de materia orgánica (0.74%); gravas subredondeadas en un 20%.

Figura 30.

Paisaje del área de estudio Quimsachata (calicata 28) suelo Quimsachata - Sapo



Figura 31.

Perfil de suelo (calicata 28) suelo Quimsachata - Sapo



PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 32.

Materiales de campo



Figura 33.

Apertura de calicata en la Estación Experimental Quimsachata - INIA



Figura 34.

Descripción de perfil de suelo (lectura de calicata)



Figura 35.

Extracción de muestras de suelo.



Figura 36.

Secado de muestras de suelo.



Figura 37.

Pesado de muestras de suelo.



Figura 38.

Muestras de suelo para el fraccionamiento de la M.O.



Figura 39.

Materiales de laboratorio para el fraccionamiento de la M.O.



Figura 40.

Balanza analítica y reactivos para el fraccionamiento de la M.O.



Figura 41.

Muestras de suelo pesadas en envases de Erlenmeyer.

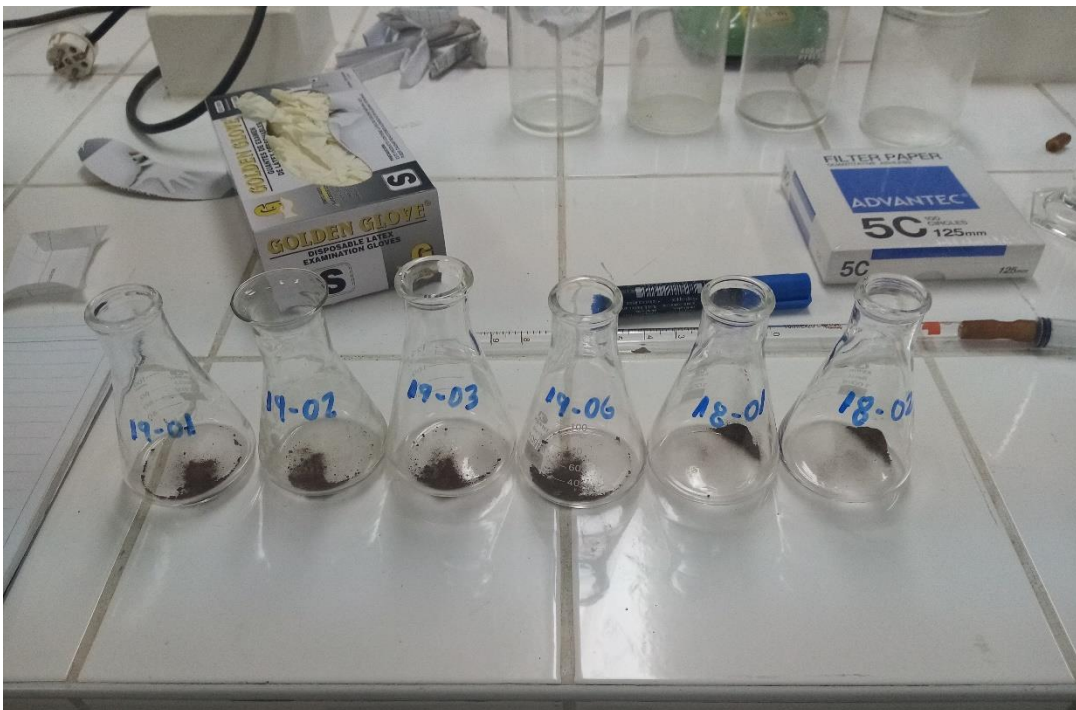


Figura 42.

Muestras puestas en baño maría por 30 min.



Figura 43.

Porción de 1 g de Sulfato de sodio (Na_2SO_4).



Figura 44.

Equipo de laboratorio – Centrifugadora de 11,000 rpm.



Figura 45.

Acidificación de muestras de ácido húmico y ácido fúlvico.



Figura 46.

Muestra de ácido húmico y ácido fúlvico – Adición de ácido sulfúrico.

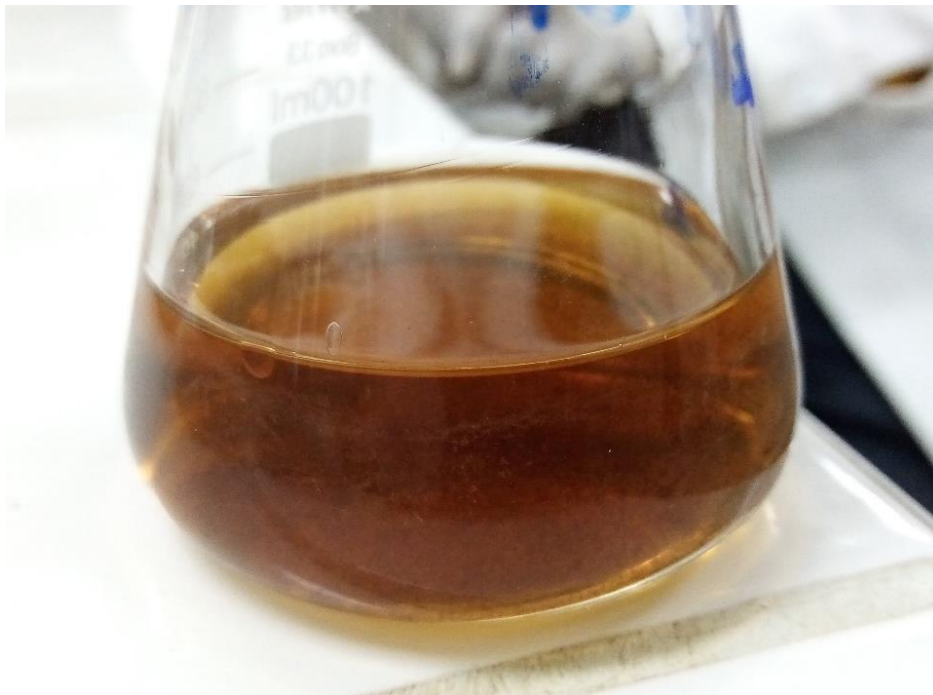


Figura 47.

Filtración de ácido húmico en el filtro Toyo Roshi N° 5.



Figura 48.

Filtrado de muestras después de acidificar.

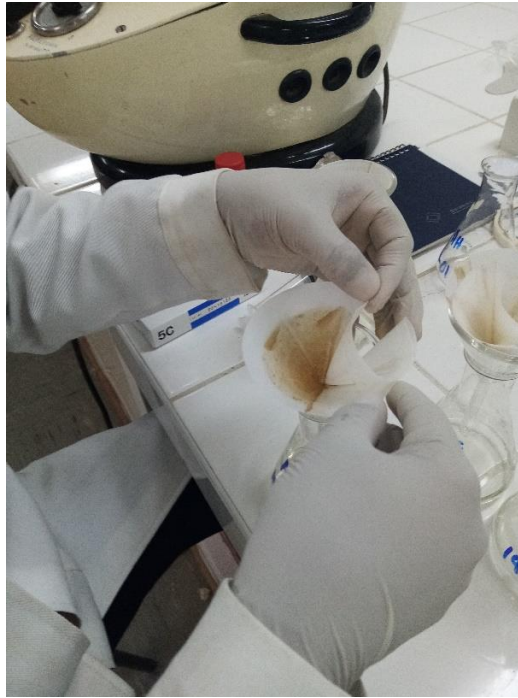


Figura 49.

Recuperación del Acido Húmico – Lavado con Hidróxido de sodio.



Figura 50.

Adición de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para la titulación.



Figura 51.

Adición de ácido sulfúrico para la titulación.



Figura 52.

Muestras con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).



Figura 53.

Titulación de las muestras de ácido húmico, ácido fúlvico y huminas.



Figura 54.

Lavado de las huminas con agua destilada.





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANKLIN MILLWARD ADUYIRI YUCRA,
identificado con DNI 71374976 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS EN LOS

SUELOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL QUIMSACHATA – INIA PUNO

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de abril del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FRANKLIN MILLWARD ADUVIRI YUCRA
identificado con DNI 71374976 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS EN LOS
SUELOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL QUIMSACHATA – INIA PUNO ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de abril del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella