

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Relación de la profundidad del suelo con el contenido de
carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la
microcuenca Apacheta. Ayacucho 2016.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGA, EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES**

PRESENTADO POR:

Bach. OMONTE QUISPE, Roseli

ASESOR:

Dr. PORTAL QUICANA, Edwin

AYACUCHO – PERÚ

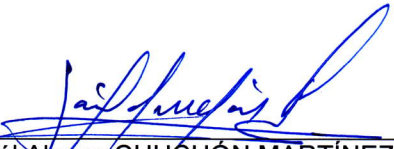
2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Roseli OMONTE QUISPE
R.D. N° 067-2022-UNSCH-FCB-D


En la ciudad de Ayacucho, siendo las tres de la tarde del día viernes 20 de mayo del año dos mil veintidós, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, presidido por el Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez quien a su vez es miembro jurado, Dr. Jesús De La Cruz Arango (Miembro – Jurado), Dr. Raúl Antonio Mamani Aycachi (Miembro – Jurado) y Dr. Edwin Portal Quicaña (Miembro- Asesor); actuando como secretaria docente Dra. Nilda Aurea Apayco Espinoza para recepcionar la exposición y defensa de la tesis titulada: **“Relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta. Ayacucho 2016”**. Presentado por la Bach. Roseli Omonte Quispe. El presidente luego de dar inicio al acto académico, indica a la secretaria docente dar lectura a la documentación exigida, luego de ello dispuso el inicio del acto de sustentación invitando a la sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos. Culminada la sustentación el presidente del jurado evaluador invitó a los miembros jurados para que puedan solicitar a la sustentante aclaraciones, ampliación y preguntas sobre el tema de exposición. Culminada esta etapa el presidente invitó a la sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el auditorio para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones, cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR	EXPOSICIÓN	RESPUESTA A PREGUNTAS	PROMEDIO
Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ	16	13	15
Dr. Jesús DE LA CRUZ ARANGO	17	17	17
Dr. Raúl Antonio MAMANI AYCACHI	17	17	17
		PROMEDIO	16


La sustentante alcanzó el promedio de 16 (dieciséis). Acto seguido el presidente invitó a la sustentante y al público reingresar al auditorio para dar a conocer el resultado de la evaluación y finalizando el presente acto académico siendo las cinco y veinte de la tarde; firmando al pie del presente en señal de conformidad.



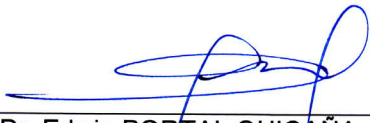
Dr. Saúl Alonso CHUCHÓN MARTÍNEZ
Presidente - Jurado




Dr. Jesús DE LA CRUZ ARANGO
Miembro – Jurado



Dr. Antonio MAMANI AYCACHI
Miembro – Jurado



Dr. Edwin PORTAL QUICAÑA
Miembro - Asesor



Dra. Nilda Aurea APAYCO ESPINOZA
Secretaria - Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA


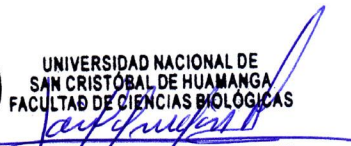
DECANATURA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS N° 013-
2022-FCB-D

Yo, SAÚL ALONSO CHUCHÓN MARTÍNEZ, Decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **“Relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta. Ayacucho 2016.”**, presentado por la Bach. OMONTE QUISPE, ROSELI; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 21%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-C.

En tal sentido, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 10 de junio de 2022.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS


Dr. Saúl Alonso Chuchón Martínez
DECANO

Relación de la profundidad del
suelo con el contenido de
carbono orgánico en tres
bofedales altoandinos de la
microcuenca Apacheta.
Ayacucho 2016

por Roseli Omonte Quispe

Fecha de entrega: 10-jun-2022 06:16p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1854553506

Nombre del archivo: 1C_Omonte_Quispe_Roseli_Pregrado_2022_TURNITIN.docx (3.47M)

Total de palabras: 16623

Total de caracteres: 86391

Relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta. Ayacucho 2016

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	3%
3	1library.co Fuente de Internet	2%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.inaigem.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%

9	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
11	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.uea.edu.ec Fuente de Internet	1 %
14	www.scribd.com Fuente de Internet	1 %
15	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	crq.gov.co Fuente de Internet	<1 %
20	mires-and-peat.net Fuente de Internet	<1 %

21	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	dl.dropboxusercontent.com Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
24	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.iiap.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
27	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
28	bibing.us.es Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
30	doku.pub Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

A Dios.

A mis padres Teófanos y Graciela

A mis hermanas, sobrino Sebastián
y Mimo por ser ellos mi motivación
y fortaleza.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga mi reconocida y respetada *Alma Mater*, por acogerme y brindarme sus aulas para mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, por brindarme las facilidades para el logro y materialización de mis estudios en la carrera profesional de Biología.

A los docentes de la especialidad de Ecología y Recursos Naturales quienes contribuyeron en mi formación académica y profesional.

Al proyecto FOCAM “Bofedales altoandinos y la capacidad de carga animal alpaca en relación a las variables edafológicas en la Microcuenca de Apacheta. Ayacucho” por el financiamiento en el proyecto de investigación.

A mi asesor, Dr. Edwin Portal Quicaña, quien, a través de su gran experiencia profesional, su orientación académica y contribución, han permitido la elaboración y finalización del presente trabajo de tesis.

Al Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz, por sus palabras de aliento y las sugerencias en el procesamiento de los datos.

Al Dr. Sady García Bendezú jefe del Departamento de suelos del laboratorio de Análisis de suelo, Plantas, Agua y Fertilizante (LASPAF).

A Giancarlo Torres Huamán por cada gesto amable, cada ocurrencia tuya que alegran mis días, por estar siempre ahí y escucharme en mis ratos de felicidad y tristeza y por haber querido a Mimo, mi corazón siempre lo recordará.

A mis grandes amigos Pablo Najarro Cerón, Yeison Bautista Tenorio, Enrique Marcatoma Tumbalobos, Rogelio Cóndor Pérez, Eyler Llactahuaman Huamani, Erick Sulca Huasacca, Kevin Jaico Huayanay, Vladimir Díaz Vargas y a mis hermanas las “Sapitas”, quienes me apoyaron en la ejecución de la tesis y estuvieron ahí con su paciencia y su apoyo moral hasta la materialización del presente informe de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	6
2.3. Bases teóricas	8
2.3.1. Bofedales	8
2.3.2. Distribución e importancia de los bofedales	8
2.3.3. Tipos de bofedales	10
2.3.4. Suelo de bofedales	10
2.3.5. Servicios ecosistémicos de los bofedales	11
2.3.6. Servicio de regulación de bofedales	12
2.3.7. Propiedades físicas del suelo	14
2.3.8. Propiedades químicas del suelo	16
2.4. Marco legal	18
III. MATERIALES Y METODOS	21
3.1. Tipo y diseño de investigación	21
3.2. Ubicación de la zona de estudio	21
3.2.1. Ubicación política	21
3.2.2. Ubicación geográfica	21
3.3. Descripción de la zona de estudio	23
3.4. Población y muestra	24
3.4.1. Población	24
3.4.2. Muestra	24
3.4.3. Diseño de muestreo	24
3.5. Metodología y recolección de muestras	28
3.5.1. Ubicación de los puntos de muestreo	28

3.5.2. Toma y procesamiento de muestras de suelo	29
3.6. Análisis de los datos	32
IV. RESULTADOS	33
V. DISCUSIÓN	63
VI. CONCLUSIONES	79
VII. RECOMENDACIONES	81
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de bofedales.	10
Tabla 2. Descripción de las principales clases de partículas.	14
Tabla 3. Clasificación de la densidad aparente en los suelos.	15
Tabla 4. Interpretación de análisis de materia orgánica (%) en suelos.	16
Tabla 5. Clasificación del pH del suelo.	17
Tabla 6. Clase de salinidad en función de la conductividad eléctrica del suelo.	18
Tabla 7. Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo y agua.	18
Tabla 8. Ubicación política de los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	21
Tabla 9. Coordenadas geográficas de los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	21
Tabla 10. Temperatura máxima media mensual del aire, mínima y máxima estacional (°C), en la microcuenca Apacheta desde el año 2000 al 2018.	23
Tabla 11. Precipitación acumulada media mensual, mínima y máxima estacional (mm), en la microcuenca Apacheta desde el año 2000 al 2018.	23
Tabla 12. Coordenadas de los transectos evaluados en temporadas seca y húmeda en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	28
Tabla 13. Metodologías empleadas en el análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo de los bofedales.	30
Tabla 14. Contenido de carbono orgánico en tres profundidades del suelo en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	35
Tabla 15. Correlación de Spearman entre la profundidad del suelo con el carbono orgánico del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	57
Tabla 16. Correlación de Spearman del carbono orgánico del suelo y la profundidad del suelo con los parámetros fisicoquímicos evaluados en los tres bofedales, microcuenca Apacheta Ayacucho 2016-2017.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Triángulo de textura.	15
Figura 2. Mapa de ubicación de los bofedales altoandinos, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	22
Figura 3. Esquema del diseño de muestreo de suelo en el bofedal.	24
Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el bofedal de Churia, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	25
Figura 5. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el bofedal Chaqirayoc, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	26
Figura 6. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el bofedal Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	27
Figura 7. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,000) del COS en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	36
Figura 8. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para el COS en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	37
Figura 9. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,000) de la materia orgánica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	38
Figura 10. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para la materia orgánica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	39
Figura 11. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,000) del pH en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	40
Figura 12. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal – Wallis del pH en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	41
Figura 13. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,000) de la conductividad eléctrica en los	42

	bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	
Figura 14.	Comparación por pareja de la prueba de Kruskal – Wallis de la conductividad eléctrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	43
Figura 15.	Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,000) de la densidad aparente en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	44
Figura 16.	Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis de la densidad aparente en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	45
Figura 17.	Medias de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	46
Figura 18.	Porcentaje de la clase textural del suelo presente en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.	47
Figura 19.	Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,028) del COS a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	48
Figura 20.	Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para el COS a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	49
Figura 21.	Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,034) de la materia orgánica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	50
Figura 22.	Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis de la materia orgánica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	51
Figura 23.	Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,882) del pH a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho	52

2016-2017.

- Figura 24. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,341) de la conductividad eléctrica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017. 53
- Figura 25. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,109) de la densidad aparente a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017. 54
- Figura 26. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis (n=168; gl=2; p= ,113) de la humedad volumétrica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017. 55
- Figura 27. Porcentaje de las clases texturales del suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017. 56
- Figura 28. Relación del contenido de carbono orgánico del suelo con la profundidad del suelo a 20, 40 y 60 cm en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017. 58
- Figura 29. Carbono orgánico del suelo de los tres bofedales a diferentes profundidades, microcuenca Apacheta Ayacucho 2016-2017. 59
- Figura 30. Tendencias correlacionales entre las variables del COS con la conductividad eléctrica, pH, densidad aparente, humedad volumétrica y materia orgánica en relación a la profundidad del suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-201. 61

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Churia, Ayacucho 2016-2017.	89
Anexo 2. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Chaqirayoq, Ayacucho 2016-2017.	90
Anexo 3. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Pantumpampa. Ayacucho 2016-2017.	91
Anexo 4. Prueba de normalidad para los tres bofedales, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.	92
Anexo 5. Prueba de normalidad para las tres profundidades de suelo en los bofedales, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.	93
Anexo 6. Prueba de normalidad para las dos temporadas de los bofedales, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.	94
Anexo 7. Estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del suelo según bofedal, temporada y profundidad de suelo, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.	95
Anexo 8. Prueba de Kruskal- Wallis.	96
Anexo 9. Análisis de varianza del parámetro de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	99
Anexo 10. Comparación de medias de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	99
Anexo 11. Análisis de varianza del parámetro de la humedad volumétrica en las dos temporadas, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	99
Anexo 12. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura del suelo, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	100
Anexo 13. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura de suelo en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	100
Anexo 14. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura de suelo a 20cm, 40cm y 60cm de profundidad, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.	100
Anexo 15. Vista Panorámica de los bofedales.	101

Anexo 16.	Recojo de muestras de suelo en los bofedales y procesamiento en el laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas.	102
Anexo 17.	Matriz de consistencia.	104

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca principalmente en evaluar el contenido del carbono orgánico del suelo (COS) en tres profundidades de suelos en tres bofedales altoandinos; Churia (4388msnm), Chaqirayoq (4317msnm) y Pantiumpampa (4345msnm) de la microcuenca Apacheta realizado durante los años 2016-2017, la investigación fue descriptiva correlacional, la metodología consistió en tres transectos transversales efectuado a lo largo del bofedal, en cada transecto se realizó tres calicatas (C1, C2 y C3), del cual se extrajo muestras de suelo 500 g a 20cm, 40cm y 60cm de profundidad, en ambas temporadas, las muestras del suelo fueron llevadas al laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para el respectivo análisis fisicoquímico de la materia orgánica, COS, pH, conductividad eléctrica, densidad aparente y humedad volumétrica. Los resultados mostraron valores de COS en tres profundidades del suelo, en el bofedal Pantiumpampa (319,91 tC/ha a 20 cm; 319,62 tC/ha a 40 cm y 319,62 tC/ha a 60 cm), bofedal Chaqirayoq (166,65 tC/ha a 20 cm; 101,76 tC/ha a 40 cm y 74,77 tC/ha a 60 cm) y Churia (133,68 tC/ha a 20 cm; 103,55 tC/ha a 40 cm y 92,93 tC/ha a 60 cm); con un mayor contenido de COS total almacenado en el bofedal Pantiumpampa (959,15 tC/ha); seguido por los bofedales Chaqirayoq (343,18 tC/ha) y Churia (330,16 tC/ha); se registró valores promedios de MO, COS, PH, CE, DA y HV para el bofedal Pantiumpampa (50,04%; 251,68 tC/ha; 3,76; 987,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 0,58 g/cm^3 y 40,26% respectivamente), bofedal Chaqirayoq (7,87%; 62,20 tC/ha; 4,54; 98,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 0,91 g/cm^3 y 31,42 %) y Churia (3,44%; 41,63 tC/ha; 4,84; 124,85 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 0,99 g/cm^3 y 32,36%); y una textura de suelo orgánico en Pantiumpampa y franco arenoso en Chaqirayoq y Churia; se registró valores promedios a 20 cm (17,26% MO; 155,76 tC/ha COS; 4,56 pH; 269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ CE; 0,76 g/cm^3 DA y 31,80% HV), 40 cm (9,69% MO; 83,99 tC/ha COS; 4,67 pH; 132,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ CE; 0,82 g/cm^3 DA y 30,10% HV) y 60 cm (5,34% MO; 56,55 tC/ha COS; 4,51 pH; 136,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ CE; 0,95 g/cm^3 DA y 35,64% HV); con una clase textural de suelo orgánico (20cm - 40cm) y suelo franco arenoso (60cm); en el análisis de correlación de Spearman, mostraron una correlación inversa entre el COS y la profundidad; y correlaciones directas del COS frente a la materia orgánica, conductividad eléctrica y humedad volumétrica, al igual que la profundidad con la densidad aparente; sin embargo, se registró correlaciones inversas del COS frente al pH y densidad aparente; de igual modo entre la profundidad y la materia orgánica.

Palabras clave: bofedal, carbono orgánico del suelo, profundidad de suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Los bofedales altoandinos son ecosistemas frágiles que albergan una gran biodiversidad de flora y fauna endémicas o amenazadas (Ley General del Ambiente, 2005), en Perú los bofedales altoandinos son descritos como zonas con vegetación verde permanente, debido al buen suministro de agua durante todo el año, manteniendo una humedad permanente, ocupan un área de 544 562 ha representado un 0,42% del total del territorio nacional (Ministerio del Ambiente, 2015), en la región Ayacucho, los bofedales representan el 1,3 % (56 613,57 ha) del territorio total de la región, dominadas por la especie de *Distichia muscoides* con un 90% (Gobierno Regional Ayacucho, 2013), este tipo de ecosistema brindan diversos servicios ecosistémicos, de los cuales podemos resaltar el servicio de provisión de almacenamiento de carbono y agua en el suelo, al presentar turba o suelo orgánico, siendo este un rasgo característico de los bofedales.

En tal sentido los bofedales altoandinos dada su extensión y particularidad, pueden constituir un importante sumidero o reservorio de carbono al almacenar grandes cantidades de carbono orgánico en las diferentes profundidades del suelo en la microcuenca Apacheta de Ayacucho y contribuir en la mitigación de los efectos del cambio climático a nivel local y global (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2019), sin embargo, el aumento de la población de las comunidades de Paccha y Rosaspampa; y las diversas actividades antrópicas no sostenibles que realizan dentro y alrededor de los bofedales ponen en riesgo la integridad del bofedal y consecuentemente los servicios ambientales que estos brindan, debido a la poca información que se tiene por parte de la comunidad sobre la importancia económica y ecológica de los bofedales.

Existen pocos estudios realizados sobre la profundidad de turba o suelo orgánico en los bofedales peruanos (Maldonado, 2014).

Por lo tanto, resulta de vital importancia conocer el funcionamiento del bofedal respecto a la capacidad de captura y almacenamiento de carbono orgánico de los bofedales a diferentes profundidades de suelo y la relación de ésta con las propiedades fisicoquímicas del suelo, de tal modo desarrollar y establecer estrategias de manejo y recuperación de los bofedales en la región.

En base a lo señalado, se planteó el siguiente trabajo de investigación el cual tiene por objetivo:

Objetivo general

Determinar la relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta.

Objetivos específicos

1. Calcular la cantidad de carbono orgánico almacenado a diferentes profundidades en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta.
2. Evaluar las características fisicoquímicas del suelo; textura, densidad aparente, humedad volumétrica, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica a diferentes profundidades del suelo de los bofedales altoandinos.
3. Relacionar el contenido de carbono orgánico con las características fisicoquímicas del suelo; textura, densidad aparente, humedad volumétrica, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica en diferentes profundidades del suelo del bofedal.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Estudio realizado por León (2016) en los bofedales altoandinos de Áncash, Arequipa, Huancavelica y Puno, donde evaluó la condición para pastoreo, la composición florística, estimó la cantidad de carbono y la calidad de materia orgánica almacenada en el suelo durante la época seca y lluviosa, la metodología utilizada fue el de muestreo de transecto lineal, en la parte central de cada transecto realizó una calicata y extrajo muestras de suelo de aproximadamente 1kg por cada horizonte de suelo para el respectivo análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo, el porcentaje de materia orgánica fue determinada por el método de Walkey & Black, los resultados mostraron los siguientes valores, para los bofedales de Puno, se obtuvo un pH moderadamente ácidos (5,11 – 5,22), densidades aparentes bajas ($0,04 \text{ g/cm}^3$ – $0,96 \text{ g/cm}^3$), humedad volumétrica (44% -76%) y materia orgánica (0,41% – 96,03%); el bofedal de Huancavelica registró un pH ligeramente ácido, neutro y ligeramente alcalino (6,3 -7,73); densidad aparente baja ($0,25 \text{ g/cm}^3$ - $1,01 \text{ g/cm}^3$); humedad volumétrica (45% - 72%) y materia orgánica (1,6% – 18%); el bofedal de Arequipa tuvo un pH moderadamente ácido y fuertemente alcalino (5,9 – 9,1), densidad aparente baja ($0,13 \text{ g/cm}^3$ – $1,15 \text{ g/cm}^3$), humedad volumétrica (26% - 65%) y materia orgánica (0,15% - 39,52%); los bofedales de Ancash fueron los que almacenan mayor cantidad de carbono en el suelo (223 tC/ha y 185 tC/ha), seguidos del bofedal de Huancavelica (157 tC/ha), los bofedales de Arequipa (77 tC/ha y 47 tC/ha) y Puno (33 tC/ha).

En el trabajo de investigación de Huiza y Quispe (2017) tuvieron como objetivo evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo de los tres tipos de pastizal (pajonal, bofedal y césped de puna) en las canchas del CIDCS (Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos) - Lachocc,

Huancavelica, en la metodología tomó tres muestras compuestas de suelo de cada tipo de pastizal delimitado para cada cancha, teniendo 45 muestras de suelos tomadas a 20 cm de profundidad, fueron analizadas en el laboratorio de suelos y plantas de la UNALM, los resultados obtenidos mostraron los promedios relativos de arena, limo y arcilla; de acuerdo a la clasificación de suelo en los pastizales de bofedal en las canchas de Saccsalla y Ranramocco presentaron 67,66 % de arena; 24,66% de limo y 7,66% de arcilla con una clase textural de Franco arenoso y 56,33% de arena; 22,00% de limo y 18,33% de arcilla con una clase textural Franco arenosa, datos similares se encontraron para los bofedales de la cancha Tucumachay y Sorahuaycco, respecto a los resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo, en el bofedal de Saccsalla se obtuvieron valores de promedios de pH (4,13) indicando que son suelos fuertemente ácidos, conductividad eléctrica (0,15 Ds/m) suelos no salinos y materia orgánica (3,32%) y en el bofedal Ranramocco se registró pH (6,06) suelos ligeramente ácidos; conductividad eléctrica (0,17 ds/m) suelos no salinos y la materia orgánica (2,57%); en los bofedales de la Cancha de Tucumachay se registraron valores de pH (5,27) suelos fuertemente ácidos, conductividad eléctrica (0,40 ds/m) suelos no salinos y con 2,62% de materia orgánica y para el bofedal de Sorahuayco se registró valores de promedios de pH (4,70) suelos fuertemente ácidos, son suelos no salinos (0,18 ds/m) de conductividad eléctrica y con 2,88% de materia orgánica.

Alvis (2018) realizó un trabajo de investigación titulado 'Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma – Arequipa', cuyo objetivo fue estimar el contenido de carbono almacenado en los humedales, estableció 30 puntos de muestreo de forma aleatoria, utilizó un muestreador tipo Core de 5,5 cm de diámetro y 30 cm de profundidad para las muestras de suelo, obtuvo muestras de tres estratos (biomasa aérea, biomasa suelo y suelo), registró valores de carbono por gramo de muestra, obteniendo valores mayores en la biomasa área (49,11%), seguidos del suelo orgánico (43,05%), biomasa bajo suelo (42,53%) y suelo mineral (1,99%), sin embargo, en el análisis estadístico, el carbono almacenado difieren entre reservorios ($p < ,05$), siendo el suelo el reservorio que almacena mayor cantidad de carbono orgánico con 218,28 tC/ha representado el 90% del total, seguidos de la biomasa bajo suelo con 19,72 tC/ha (8%) y finalmente la biomasa área con 4,77 tC/ha (2%).

Fernández (2019) cuantificó el carbono orgánico del suelo de turberas de Alto Perú - Cajamarca, en la metodología realizó el muestreo aleatorio simple, donde

tomo 10 parcelas distribuidas sistemáticamente, para la cuantificación del carbono orgánico calculó la densidad aparente del suelo, extrajo muestras de suelo con un cilindro muestreador de 6 cm de diámetro por 5 cm de altura, obtuvo muestras representativas de la homogenización de cinco submuestras tomadas en zigzag a 30 cm de profundidad de suelo, utilizó el método de combustión de Walkley & Black para el cálculo del carbono orgánico, en los resultados obtenidos por Fernández muestran un promedio de carbono orgánico de 13,67%, una densidad aparente promedio de $1,05 \text{ g/cm}^3$ con una variación de $0,89 \text{ g/cm}^3$ y $1,264 \text{ g/cm}^3$ y una cuantificación promedio de carbono orgánico en el suelo de $4,18 \text{ g/cm}^3$ a 30 cm de profundidad del suelo, acumulando un promedio de 417,94 Mg/ha fluctuando entre 87,81 Mg/ha y 967,84 Mg/ha, concluyendo que el alto valor evidencian un gran potencial de secuestro de carbono por lo cual debe buscarse la protección del ecosistema frágil mediante una gestión sostenible de uso de suelo.

En el trabajo de investigación de Mamani y Mamani (2019) cuyo objetivo fue determinar el secuestro de dióxido de carbono en el suelo en tres sumideros de carbono (puyas de Raimondi, pajonal y bofedal) en la comunidad de Bellavista del distrito de Putina - Puno, cuya investigación fue no experimental descriptivo transversal, utilizaron la metodología de muestreo aleatorio de nueve puntos en los sumideros (s1, s2 y s3) en tres profundidades de suelo (p1= 0 cm - 10 cm, p2= 20 cm -30 cm y p3= 30 cm - 60 cm) teniendo un total de 27 muestras, evaluaron los parámetros fisicoquímicos de densidad aparente, NPK, pH, la conductividad eléctrica, materia orgánica y carbono orgánico en el suelo, obtuvieron valores promedios de materia orgánica de 1,67%; 6,27% y 5,25% para los tres sumideros respectivamente, donde los suelos de puya Raimondi están categorizados como bajo en materia orgánica, mientras los suelos de los otros sumideros (bofedal y pajonal) fueron clasificados como alto en materia orgánica, con una densidad aparente baja en los dos sumideros (s2= $0,61 \text{ g/cm}^3$ y s3= $0,99 \text{ g/cm}^3$), sin embargo, tuvo una clasificación alta (s1= $1,00 \text{ g/cm}^3$), con pH fuertemente ácidos en los tres sumideros (s1= 4,58; s2= 4,63 y s3=4,84) y una conductividad eléctrica baja indicando que son suelos no salinos en los tres sumideros (s1= 0,07 dS/m; s2= 0,4 dS/m y s3=0,16 dS/m); los resultados de los parámetros fisicoquímicos en relación a la profundidad del suelo, registraron en el sumidero bofedal (s3), valores de materia orgánica con una clasificación alta (p1 = 7,8% y p2 = 6,61%) y baja (p3 = 1,33%); con pH muy fuertemente ácidos

en las tres profundidades ($p_1 = 4,98$; $p_2 = 4,82$ y $p_3 = 4,71$); con suelos no salinos ($p_1 = 0,2$ dS/m; $p_2 = 0,23$ dS/m y $p_3 = 0,06$ dS/m) y con una densidad aparente baja en $p_1 = 0,15$ g/cm³ y alta ($p_2 = 1,21$ g/cm³ y $p_3 = 1,62$ g/cm³), se registraron valores altos de COS en el sumidero bofedal ($s_3 = 136,9$ tC/ha) seguidos de pajonal y puya Raimondi ($s_2 = 120,56$ tC/ha y $s_1 = 51,19$ tC/ha); en el sumidero bofedal se observó un mayor contenido de COS en $p_2 = 92,69$ tC/ha, seguido de $p_3 = 37,42$ tC/ha y $p_1 = 6,79$ tC/ha, la cantidad de COS estuvo influenciada por la densidad aparente del suelo. Concluyendo ambos autores que los bofedales tienen gran capacidad de secuestrar el CO₂ teniendo un 44% (501,96 tCO₂/ha) seguido del Pajonal con 39% (442,05 tCO₂/ha) y finalmente las puyas Raimondi con 17% (187,68 tCO₂/ha), los bofedales de acuerdo a su extensión contribuyen en gran parte en el secuestro de carbono, sin embargo, estos son vulnerables frente al cambio climático.

Estudio realizado por Palacios (2021) en los bofedales altoandinos, tuvo como objetivo determinar la humedad del suelo en el Sector Moyobamba Tanta de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC) – Junín, en la metodología utilizada definió 10 puntos de muestreo, cinco puntos ubicados a 0 m del canal de drenaje y cinco puntos a 5 m del canal de drenaje, del cual extrajo muestras de suelo a 25 cm de profundidad, determinó los parámetros de temperatura (*in situ*), conductividad eléctrica, pH, humedad de suelo, contenido de materia orgánica, porosidad y textura del suelo, en el resultado obtuvo valores promedios mínimos y máximos a cinco metros del canal de drenaje, registró un pH (6,24 – 7,96) siendo suelos ligeramente ácidos y moderadamente alcalinos, contenido de materia orgánica alta (18,4% - 60,9%), conductividad eléctrica (0,00 uS/cm – 0,26 uS/cm) siendo suelos no salinos, humedad de suelo (71,2% - 79,2%), porosidad (67,8%), temperatura (6,34°C – 9,36°C) y una textura franco arcillosa, en el análisis de correlación de Pearson se encontró correlaciones positivas entre los parámetros de la humedad del suelo y la materia orgánica ($r = ,579$; $p = ,000$); pH y la conductividad eléctrica ($r = ,83$; $p = ,000$) y correlaciones negativas entre la materia orgánica y el pH ($r = - ,404$; $p = ,001$) y la materia orgánica y conductividad eléctrica ($r = - ,484$; $p = ,002$).

2.2. Marco conceptual

a) Bofedales altoandinos

Son ecosistemas ubicados en zonas con altitudes mayores a 4100 msnm, paran inundadas la mayor parte del año, dependientes de las precipitaciones, deshielo de glaciares y por el afloramiento de agua subterránea a través de los

manantiales, considerados ecosistemas frágiles debido a la diversidad de flora y fauna endémica que alberga (Maldonado, 2014).

b) Microcuenca

Áreas que se encuentran delimitadas por las partes altas de una montaña de tal forma que los drenajes de las aguas de lluvia se desplazan a un cauce principal para finalmente desembocar en un río o lago (Ministerio del Ambiente, 2015).

c) Suelo

Es la capa superficial de la corteza terrestre, compuesto de fragmentos minerales, materia orgánica, fase líquida y fase gaseosa, donde se desarrollan las raíces de las plantas y/o seres vivos (Porta, López, & Roquero, 2003).

d) Profundidad de suelo

Expresada por el espesor en centímetros del suelo superficial y/o horizonte O hasta el horizonte R y/o lecho de roca (Ministerio del Ambiente, 2019).

e) Carbono orgánico del suelo

Asociado a la materia orgánica del suelo (Jaramillo V. , 2007).

f) Materia orgánica

Fracción orgánica del suelo, excluyendo la biota del suelo y los residuos frescos (Jaramillo D. F., 2002).

g) Potencial de hidrógeno (pH)

Es la medida para determinar el grado de acidez o alcalinidad de diversas sustancias (Departamento de Agricultura, 1999).

h) Textura

Indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño en el suelo, se clasifica en clases texturales de acuerdo a la proporción de partículas de arena, limo y arcilla del suelo (Ramírez, 1997).

i) Conductividad eléctrica

Mide la capacidad del suelo de conducir electricidad a través de las propiedades de las sales en la conducción de estas, de tal forma la conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo (Departamento de Agricultura, 1999).

j) Densidad aparente

Es la relación entre la masa de sólidos secos y el volumen total, cuya unidad de medición es g/cm^3 (Ramírez, 1997).

k) Humedad volumétrica

Es el porcentaje de agua presente en un volumen de suelo húmedo (Calvache, 2002).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Bofedales

Los bofedales también llamados oconales, turberas, cenegales, humedales altoandinos y otros; presentan humedad permanente en el suelo para mantener hábitats naturales con gran biodiversidad de flora y fauna (Alzérreca, Prieto, Laura, Luna, & Laguna, 2001), los bofedales constituyen un ecosistema hidromórfico distribuido principalmente en las zonas sur y central de la región altoandina del país a partir de los 3800 msnm (Ministerio del Ambiente, 2015) son asociaciones de vegetación herbácea del tipo hidrófila localizadas en zonas sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados donde existe buen suministro de agua, irrigada durante todo el año proveniente de deshielos, agua subterránea, manantiales, ríos u ojos de agua, presentan una vegetación densa y compacta siempre verde, de porte almohadillado o en cojín, la fisionomía de la vegetación corresponde a herbazales de 0,1 a 0,5 metros (Mango, 2017; Ministerio del Ambiente, 2019).

En el Perú según Maldonado (2014) el término bofedales se usa para describir "zonas con vegetación de humedales que pueden tener capas de turba subyacentes" (p.1), estos ecosistemas pueden ser estacionales o permanentes, así como naturales o artificiales.

Flores (2014) señala que "los bofedales son sistemas ecológicos extremadamente frágiles por su dependencia del agua, sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a la alteración que resulta de la actividad minera, el pastoreo y el retroceso glaciar" (p.2).

"Los bofedales se desarrollan normalmente en zonas planas, en los alrededores de pequeñas lagunas, y/o bordeando los riachuelos y pequeños manantiales. Se caracterizan por su coloración siempre verde (...), así como por la presencia de suelos orgánicos o turbas" (Maldonado, 2018).

2.3.2. Distribución e importancia de los bofedales

Ocupa una superficie de 544 562 ha que representa el 0,42 % del total nacional, distribuidos en los departamentos de Cajamarca, Piura, La Libertad, Ancash, Lima, Pasco, Moquegua y Tacna (Ministerio del Ambiente, 2015, 2019).

En la Región de Ayacucho, los bofedales representan el 1,3% (56613,57 Ha) del territorio de la región, siendo la *Distichia muscoides* la especie más representativa con un 90% (Gobierno Regional Ayacucho, 2013), "A pesar de su limitada extensión, los bofedales son ecosistemas estratégicos de reserva y sostenibilidad del ciclo hidrológico, dado que es en esos lugares donde se inician

los cursos de agua” (Flores, 2014, p.2), son considerados de alta importancia, al ser pasturas clave para el ganado, especialmente en la estación seca, y son especialmente vulnerables y amenazados por la pérdida y degradación del hábitat (Ministerio del Ambiente, 2015), por lo cual se requiere implementar programas de manejo y conservación mediante estrategias sostenibles con sólidas bases científicas y de conocimiento, teniendo en cuenta que son especialmente vulnerables al cambio climático, las sequías prolongadas y la intervención humana con el fin de asegurar la continuidad de los servicios ecosistémicos que estos proveen (Flores, 2014).

Según Alzérreca et al. (2001) son cuatro los aspectos que hacen que los bofedales sean importantes:

a) Sociocultural

Estos ecosistemas tienen miles de años de formación, desarrollándose en él una cultura pastoril, especialmente en la época seca por la presencia de bofedales, sin embargo, gran parte de los camélidos fueron desplazados y reemplazados por ovinos y vacunos; y una apreciable extensión de los bofedales fueron transformadas a tierras agrícolas perdiéndose un recurso natural importante apto para pastoreo, en los últimos años las comunidades con apoyo de organizaciones han ido implementando estrategias de recuperación de estos ecosistemas (Alzérreca et. al, 2001).

b) Económico

Los bofedales nos proveen de agua dulce tanto para consumo humano y de animales, proveen forraje para el ganado de la zona, generando una actividad económica única, de igual manera las cuencas hidrográficas altoandinas benefician de forma indispensable en la producción agrícola cuenca abajo (Alzérreca et. al, 2001).

c) Ecológico

Al ser los bofedales ecosistemas frágiles con severas limitaciones climáticas y edáficas respecto a cualquier actividad humanas (producción agrícola), constituyen hábitats y nichos ecológicos para especies de fauna y flora endémicas de la zona, de igual manera influyen en el microclima local y proveen forraje verde durante toda la época seca del año permitiendo la producción secundaria (Alzérreca et. al, 2001).

d) Geopolítico

De no ser por la existencia de la relación bofedales – camélidos en estas zonas, serían deshabitadas perdiéndose la presencia humana que es tan importante para sentar soberanía en estas regiones tan inhóspitas (Alzérreca et. al, 2001).

2.3.3. Tipos de bofedales

Los bofedales actualmente son clasificados teniendo en cuenta diversos criterios, como el origen, piso altitudinal, la ubicación, las condiciones climáticas, régimen hídrico, entre otros (León, 2016).

Existen diferentes tipos de bofedales los cuales se clasifican en:

Tabla 1. Tipos de bofedales.

	Tipo	Características
Origen	Naturales	Son aquellos creados por la humedad de deshielos manantiales naturales de aguas sub superficiales o aguas subterráneas y precipitaciones pluviales
	Artificiales o antrópicos	Creados por el hombre, de acuerdo a su conveniencia y necesidad
Altitud	Altiplánicos	Están ubicados por debajo de los 4100 msnm
	Altoandinos	Están ubicados por encima de los 4100 msnm
Régimen Hídrico	Hidromórficos o udicos	Tienen presencia de udicos agua permanente
	mésicos o ústicos	Tienen presencia de agua ústicos temporal
pH de los suelos	Ácidos	pH menor de 6,4
	Neutros	pH de 6,4 a 7,4
	Básicos	pH mayor de 7,4
Tamaño	Pequeños	Uso familiar pequeños
	Grandes	Uso comunal grandes
Fisiografía	Cordillera o altura	
	Llanura, pampa y aluviales	

Fuente: Alzérreca et. al, 2001.

2.3.4. Suelo de bofedales

Los suelos de los bofedales generalmente son turbosos, estos se distinguen de los suelos minerales por tener un alto contenido de carbono y un espesor de materia orgánica, formados a partir de materiales vegetales (raíz, hojas) acumulados debido a la ligera mineralización que ocurre como consecuencia de las bajas temperaturas y por el ambiente saturado de agua, estas se encuentran parcialmente descompuesta hasta varios metros de profundidad, la deficiencia de oxígeno permite la descomposición lenta de la vegetación muerta *in situ* y la formación de turba (Mango, 2017; López et al., 2020), el bofedal presenta un

perfil de suelo constituido por una masa fibrosa de plantas herbáceas vivas y en distintos estados de descomposición, por la condición del clima, la descomposición de la materia orgánica es lenta, la profundidad del perfil turbosa varía entre algunos decímetros a varios metros (Alzérreca et al., 2001), las turberas acumulan al menos 30 cm - 40 cm de profundidad de turba, cuyo sustrato se compone al menos 30 % de materia orgánica (Fuentealba, 2019).

La densidad aparente y la profundidad de turba, se relacionan con el servicio de almacenamiento de agua y carbono, al ser menor la densidad aparente y habiendo una mayor profundidad de turba, mayor es la capacidad de almacén de agua y carbono en el bofedal (Ministerio del Ambiente, 2019).

Alzérreca et al. (2001), en el informe de Características y Distribución de los Bofedales en el Ámbito Boliviano, reporta un pH de 4,8; materia orgánica (37,8%); nitrógeno (1,54 %) y conductividad eléctrica (0,70 $\mu S/cm$), donde resalta el alto contenido de materia orgánica y pH fuertemente ácido del suelo.

2.3.5. Servicios ecosistémicos de los bofedales

Flores (2014), señala que "Los servicios ecosistémicos que brindan los bofedales constituyen patrimonio de la nación y pueden clasificarse en servicios de provisión, de regulación, de apoyo y culturales", los servicios ambientales como provisión de agua y alimento para el ganado y la fauna silvestre (en especial en la época seca); provisión de hábitat para varias especies, incluyendo especies endémicas, amenazadas y migratorias; regulación de la descomposición de la materia orgánica que influencia al ciclo del carbono a nivel regional; almacenamiento, la filtración y regulación del agua en la parte alta de las cuencas, etc.

Resaltar entre ellos el servicio más importante que prestan los bofedales es el almacenamiento de carbono, estos almacenan más carbono que todos los bosques del planeta (Maldonado, 2014, 2018).

De acuerdo a la Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal del Ministerio del Ambiente (2019) los servicios ecosistémicos se clasifican en:

a) Servicios de provisión

Los bofedales proveen forraje para alimentar a las alpacas y ganado vacuno y ovino; las turbas extraídas del suelo por las personas son usados como abono y combustible para la población local, las partes bajas de la cuenca son provistos de agua para la realización de diferentes actividades humanas entre ellas la agricultura (Ministerio del Ambiente, 2019).

b) Servicios de regulación

El suelo orgánico presente en el suelo de los bofedales son la principal forma de almacenamiento y fijación del carbono, la cubierta presente en el bofedal ayuda a evitar la erosión del suelo, la turba presente en el bofedal actúa como esponja al almacenar agua en los bofedales y mejorar la calidad del agua, estos de igual forma regulan el clima local y global (Ministerio del Ambiente, 2019).

c) Servicios de soporte

Los bofedales constituyen el refugio del hábitat de la fauna y flora endémica, de igual manera en él se dan el proceso de formación de turba ayudando al mantenimiento del bofedal y ciclo de nutriente del carbono (Ministerio del Ambiente, 2019).

d) Servicios culturales

Brindan belleza escénica y paisajística y son áreas de recreación y turismo (Ministerio del Ambiente, 2019).

2.3.6. Servicio de regulación de bofedales

a) Captura y almacenamiento de carbono orgánico en los bofedales

Los ecosistemas regulan el clima de la tierra añadiendo o retirando gases de efecto invernadero como CO₂ de la atmósfera (Mango, 2017), los bofedales son considerados como sumideros de CO₂, al participar en el reciclaje del carbono atmosférico, al capturarlo y transformarlo en materia viva a través de la fotosíntesis y al secuestro en el suelo (Marín, Hernández, & Moreno, 2011; Alvis, 2018), "Al caer los residuos orgánicos de la planta o cuando esta llega al suelo por senescencia, el material vegetal se acumula en la superficie y se forma una capa de suelo muy rica en materia orgánica (turba)", (Marín et al., 2011) el crecimiento indefinido de la parte apical de especies vegetales como la *Oxyxhloe andina* y *Distichia muscoides* y la senescencia de la parte inferior de la planta, sumado a las condiciones anaeróbicas del suelo al estar saturado de agua y la baja temperatura del ambiente, hacen que el proceso de descomposición de la celulosa sea más lento por parte de las bacterias al reducirse la disponibilidad de oxígeno en el suelo (descomposición anaeróbica) de igual forma se encuentran limitadas por la acidez del suelo (Palabral, 2013; Ministerio del Ambiente, 2019), las condiciones climáticas en zonas altoandinas, reducen la velocidad de cualquier reacción química y reduciendo el oxígeno disponible en la atmósfera (Ministerio del Ambiente, 2019).

Hernández (2010), señala que "la turba se define como suelo sin consolidar formado por materia vegetal fibrosa parcialmente descompuesto que se acumula en un ambiente anegado" (p. 3).

La formación de la turba en los bofedales se origina por el proceso de acumulación de turba, dicha acumulación ocurre cuando la velocidad con que se aporta material vegetal muerto al suelo, es mayor a la velocidad de descomposición y mineralización de este material vegetal resultando una acreción vertical o lateral de depósitos de material orgánico (Hernández, 2010; Ministerio del Ambiente, 2019).

"El suelo tiene un papel importante en el ciclo del carbono en la tierra porque en él se encuentra la principal reserva de este elemento en el planeta" (Hernández, 2010, p. 3), el carbono orgánico en los suelos es 2,1 veces más que en la atmósfera y 2,7 veces más que la reserva biótica, en los suelos de humedales, los promedios de descomposición de material orgánico suelen ser bajos por las condiciones anaerobias, por lo que su potencial de almacenamiento de carbono es alto, la formación de la turba en los humedales representa el sumidero de carbono (Hernández, 2010).

Es importante mencionar que el drenado, desecación de los humedales, estimula la oxidación del carbono almacenado en ellos con liberación de CO₂.

Por lo anterior, la conservación de humedales es crítico en la regulación del ciclo del carbono en la tierra (Hernández, 2010).

b) Carbono orgánico del suelo

Es la forma de carbono derivado de componentes biológicos, es de intercambio rápido y está presente en todos los compuestos orgánicos incluyendo el suelo (Alvis, 2018).

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del carbono (Martínez et al., 2008), el carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, conforme la profundidad aumenta, la abundancia del carbono orgánico decrece (Martínez et al., 2008; Alvis, 2018).

2.3.7. Propiedades físicas del suelo

Reflejan el comportamiento mecánico del suelo y el balance existente entre los componentes del suelo (las partículas, el contenido de agua y aire) (Huiza & Quispe, 2017).

Es importante conocer las propiedades físicas del suelo para realizar un manejo adecuado, el desconocimiento de las propiedades físicas que posee un suelo los conllevan a la degradación y la pérdida de sus principales funciones ecosistémicas, el suelo es un medio complejo en constante cambio, encontrándose en una relación intrínseca con el aire, las rocas, el relieve, la flora, la fauna, el agua y otros actores climáticos; influyendo en las propiedades físicas como la textura, la densidad, porosidad, la profundidad, pedregosidad y humedad (Universidad de Caldas, 2011).

a) Textura

Expresa la distribución de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo, expresada en porcentajes de arena, el limo y la arcilla (Ramírez, 1997).

Las partículas del suelo individualizadas se distribuyen en un continuum de tamaño, si bien se agrupan en diversas fracciones atendiendo a su tamaño. La distinta proporción de arena, limo y arcilla define la textura de cada horizonte (Porta et al., 2003), el cual influye en la velocidad de infiltración del agua, laboreo del suelo y drenaje (Ramírez, 1997).

Tabla 2. Descripción de las principales clases de partículas.

Partícula	Diámetro	Descripción
Arena	2,00 – 0,05 mm	Sus partículas individuales son observables a simple vista. Por su gran tamaño y forma irregular, el contacto entre partículas de arena es limitado, lo que dificulta la formación de agregados estables en el suelo.
Limo	0,05 – 0,002 mm	Su tamaño hace que sean observables al microscopio. Por la combinación de su área superficial y el tamaño de sus poros, esta partícula tiene la más alta capacidad retentiva de agua disponible.
Arcilla	<0,002 mm	Son observables sólo a través de microscopios electrónicos. Cuando se humedecen, forman agregados que al secarse son bastante duros. El grado de cohesión y adhesión varía según la clase de arcilla; cuanto más fina, más duro el terrón que se forma.

Fuente: Porta et al., (2003).

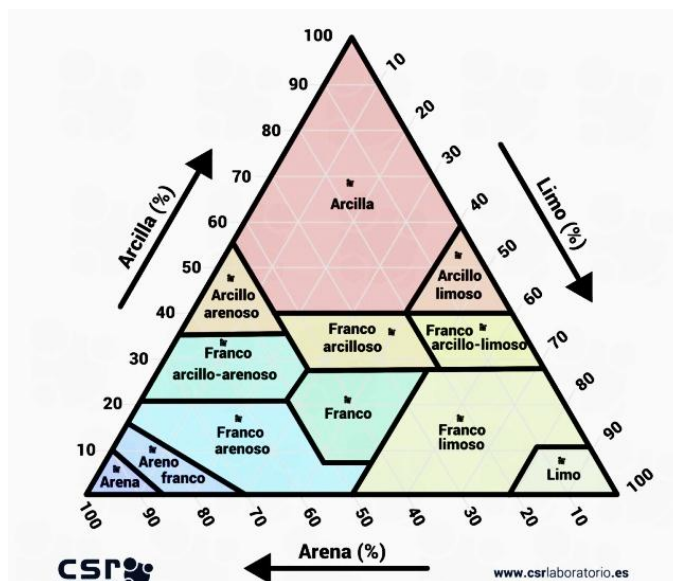


Figura 1. Triángulo de textura.

Fuente: Departamento de Agricultura (1999)

b) Densidad aparente

Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, en el cual se encuentra incluida la fase sólida y gaseosa (Universidad de Caldas, 2011).

La densidad aparente viene hacer la relación que existe entre la masa de solidos secos en la estufa y el volumen total de suelo, se expresa en gramos/centímetro cúbico (Ramírez, 1997).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la densidad aparente es un factor importante para evaluar las reservas de carbono orgánico del suelo, siendo este el responsable de las variaciones entre las estimaciones del carbono orgánico del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

Tabla 3. Clasificación de la densidad aparente en los suelos.

Densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación
< 1,0	Muy bajo
1,0 – 1,2	Bajo
1,2 – 1,45	Medio
1,45 – 1,60	Alto
> 1,60	Muy alta

Fuente: Cairo (1995)

c) Humedad volumétrica

Es la relación entre el volumen de agua y el volumen total del suelo, la humedad volumétrica es el contenido de agua en el suelo, es recomendable realizar

cálculo de la humedad volumétrica frente a la humedad gravimétrica, debido a que puede ser usado directamente en cálculos de flujos, como la cantidad de agua agregada al suelo por riego o lluvia y la cantidad de agua extraída del suelo por evapotranspiración o drenaje (Calvache, 2002, 2010).

2.3.8. Propiedades químicas del suelo

Son aquellas, que afectan la relación suelo-planta, capacidad amortiguadora del suelo, calidad y cantidad del agua y disponibilidad de nutrientes para las plantas y microorganismos (Huiza & Quispe, 2017).

a) Carbono orgánico

Se encuentra almacenado en el suelo en forma de residuos orgánicos (materia orgánica) poco alterados de vegetales, animales y microorganismo en forma de humus en condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Martínez et al., 2008).

b) Materia orgánica

Son todos los residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición por los microorganismos del suelo, se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Martínez et al., 2008), su contenido es variable y está condicionado principalmente por el clima, la fisiografía del medio local y el sistema de manejo (Huiza & Quispe, 2017).

La materia orgánica es considerada como la fracción orgánica más importante del suelo (Jaramillo D. F., 2002), las plantas son la fuente principal de materia orgánica; su calidad y cantidad están en función del tipo de vegetación. La presencia de ella se mide en porcentaje y constituye un almacén de energía y de alimento disponible para las plantas y otros organismos, así como una fuente de formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo (Jaramillo D. F., 2002).

Tabla 4. Interpretación de análisis de materia orgánica (%) en suelos.

Materia Orgánica (%)	Clasificación
< 2,0	Bajo
2 - 4	Medio
> 4,0	Alto

Fuente: Bazán (1989)

c) Potencial de hidrógeno (pH)

Es el grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dicha medida afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos y la solubilidad

de minerales del suelo, por la proporción de iones de hidrógeno (H⁺) y oxidrilos (OH⁻) (Departamento de Agricultura, 1999) (Jaramillo D. F., 2002).

Químicamente, se define como el logaritmo del inverso de la actividad de iones de hidrógeno (H⁺), bajo la forma de hidronio (H₃O⁺), presentes en la solución suelo; se expresa mediante la siguiente fórmula (Jaramillo D. F., 2002).

$$pH = \log \frac{1}{H_3O^+} = -\log H_3O^+$$

Los valores del pH en agua de los sistemas naturales se hallan generalmente en el siguiente intervalo:

Tabla 5. Clasificación del pH del suelo.

pH	Clasificación
<3,5	Ultra ácido
3,5 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 - 9,0	Fuertemente alcalino
>8,5	Muy Fuertemente alcalino

Fuente: Jaramillo (2002)

d) Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material o sustancia para pasar la corriente eléctrica a través de él. Los resultados de la conductividad eléctrica de la mezcla del suelo y agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo (Departamento de Agricultura, 1999), los suelos poseen cierto grado de sales, estas sales son esenciales para el crecimiento de las plantas, sin embargo, un exceso de sales en el suelo puede traer consecuencias negativas en la planta, inhibiendo el crecimiento de las plantas.

Los cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, y NH₄⁺) y aniones (SO₄²⁻, Cl⁻, y HCO₃⁻), que resultaron de las sales disueltas en el agua del suelo, son los que transportan las cargas eléctricas y conducen la corriente eléctrica, la concentración de los iones mencionados determina la conductividad eléctrica del suelo el cual se utiliza como medida de salinidad del suelo (Departamento de Agricultura, 1999; Huiza & Quispe, 2017).

El sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para la conductividad eléctrica determinada en una solución extracto de suelo a 25 °C, cuya relación suelo-agua en una proporción uno y uno, la presencia de estas sales puede interferir en la capacidad de intercambio de iones, resultando en una deficiencia nutricional para el crecimiento de las plantas; por ello, lo mejor es tener un suelo con baja cantidad de sales (Huiza & Quispe, 2017), los valores son expresados en deciSiemens por metro (dS/m).

Tabla 6. Clase de salinidad en función de la conductividad eléctrica del suelo.

C.E (dS/m)	Clasificación
0 - 2	No salino
2 - 4	Muy ligeramente salino
4 - 8	Ligeramente salino
8 -16	Moderadamente salino
Mayor a 16	Fuertemente salino

Fuente: Bazán (1989) y Departamento de Agricultura (1999)

Tabla 7. Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo y agua.

C.E (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad
0 – 0,98	No salino
0,99 – 1,71	Muy ligeramente salino
1,72 – 3,16	Ligeramente salino
3,17 – 6,07	Moderadamente salino
Mayor a 6,07	Fuertemente salino

Fuente: Personal de estudio de suelos (1993), Janzen (1993) y Smith y Dorán (1996)

2.4. Marco legal

La convención de Ramsar, es un acuerdo intergubernamental sobre la conservación y uso sostenible de los recursos naturales entre países y organizaciones no gubernamentales debido a la creciente preocupación sobre la pérdida y degradación de los hábitats de los humedales para aves acuáticas migratorias, en el Perú entró en vigor el 30 de marzo de 1992 (Secretaría Ramsar, 2013).

El Perú es una de las partes que posee un mayor área, abarcando una superficie total de 6 784 042 ha de humedales, teniendo asignados 13 sitios Ramsar de importancia internacional (Secretaría Ramsar, 2013).

El MINAM se encarga de velar por la gestión de los sitios Ramsar designados, los mismos que se registran en la cartografía nacional. Para este fin, el

SERNANP gestiona los sitios Ramsar ubicados dentro de las Áreas Naturales Protegidas en coordinación con el MINAM (Decreto Supremo N° 006- 2021-MINAM, 2021, art. 33).

La Ley General del Ambiente (2005) señala que "La conservación de los ecosistemas se orienta a conservar los ciclos y procesos ecológicos, a prevenir procesos de su fragmentación por actividades antrópicas y a dictar medidas de recuperación y rehabilitación, dando prioridad a ecosistemas especiales o frágiles" (Art. 98).

"Los humedales altoandinos o bofedales son ecosistemas frágiles, el estado reconoce su importancia como hábitat de especies de flora y fauna, en particular de especies de aves migratorias" (Ley General del Ambiente- ley N° 28611, 2005, art. 99)

El Decreto Supremo N° 006 - 2021-MINAM (2021) de las Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los Humedales, en el Artículo 32 de la Conservación de turberas señala que:

Las turberas son aquellos humedales que acumulan turba de manera natural, las autoridades públicas deben adoptar medidas especiales para su conservación, recuperación y uso sostenible por los servicios ecosistémicos que provee especialmente en el marco de la adaptación y mitigación del cambio climático y por su importancia socioeconómica. Se permite el uso de la turba para fines de autoconsumo, subsistencia, usos domésticos entre otras actividades tradicionales sostenibles y se prohíbe su extracción con fines comerciales (art. 32).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es descriptivo correlacional, describe el contenido de carbono orgánico a diferentes profundidades de los suelos y su relación con los parámetros fisicoquímicos del suelo.

3.2. Ubicación de la zona de estudio

El trabajo de investigación se realizó en los tres bofedales altoandinos (Figura 2), del bofedal Churia (Figura 4), Chaqirayoq (Figura 5) y Pantumpampa (Figura 6), ubicados entre 4317 - 4388 msnm en la microcuenca Apacheta.

3.2.1. Ubicación política

La zona de estudio de los tres bofedales tiene la siguiente ubicación política:

Tabla 8. Ubicación política de los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Bofedal	Región	Provincia	Distrito
Churia	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Chaqirayoq	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Pantumpampa	Huancavelica	Huaytará	Pilpichaca

3.2.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de los tres bofedales evaluados se encuentran en las coordenadas UTM Datum WGS-84 Zona 18S (Tabla 9).

Tabla 9. Coordenadas geográficas de los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Bofedal	Coordenadas UTM		Altitud
	Este	Norte	
Churia	538125	8528985	4388
Chaqirayoq	548903	8532790	4317
Pantumpampa	533497	8524903	4345

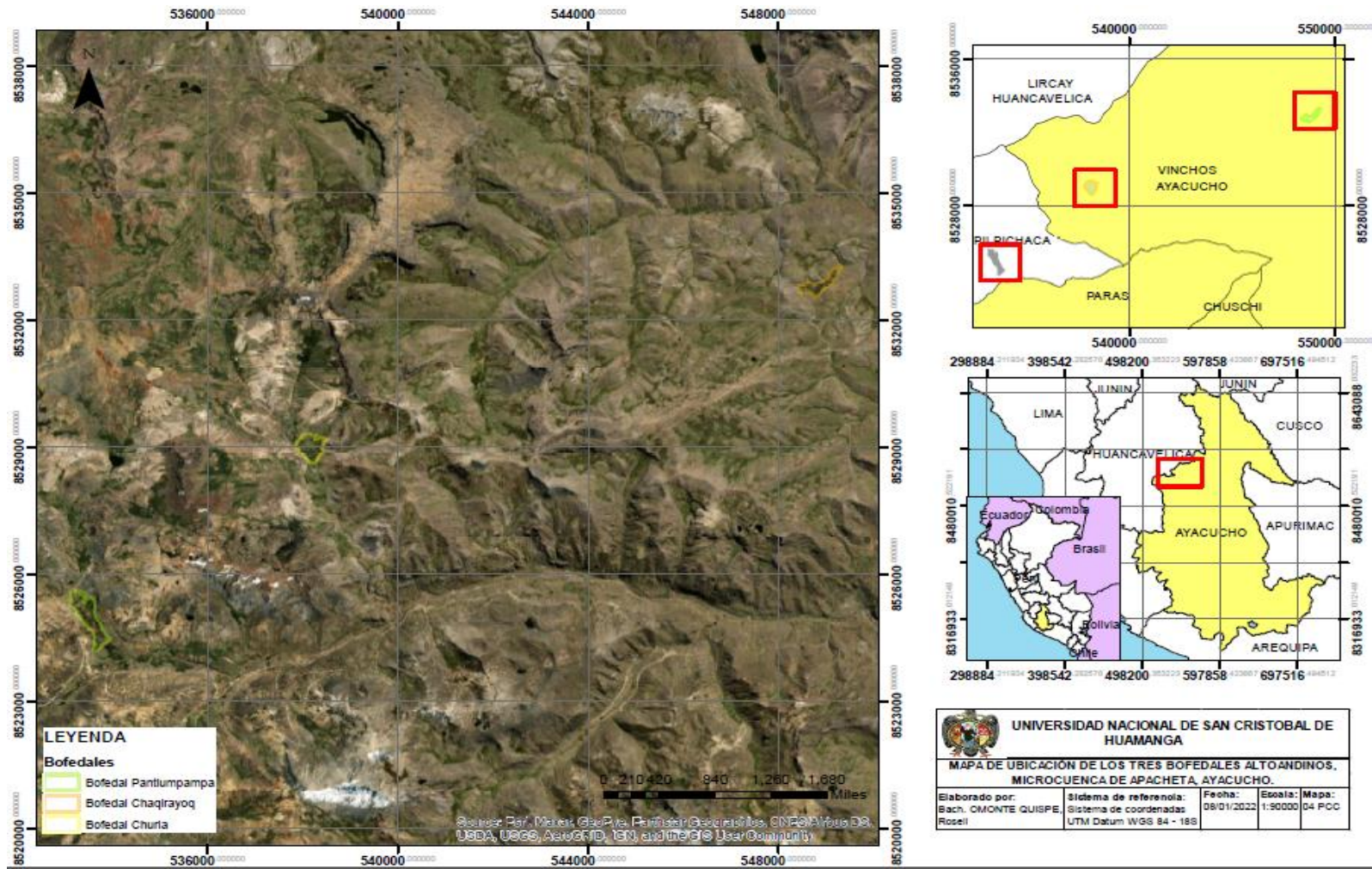


Figura 2. Mapa de ubicación de los bofedales altoandinos, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

3.3. Descripción de la zona de estudio

Los bofedales presentan áreas diferentes, Churia (27 ha), Chaqirayoq (20,9 ha) y Pantumpampa (43,2 ha), estos bofedales están ubicadas dentro de la microcuenca Apacheta, en la zona de vida páramo muy húmedo – Subalpino Subtropical (pmh-SaS), según el estudio de Zonificación Ecológica y Económica (Gobierno Regional Ayacucho, 2013), la temperatura media mensual es de 12,73°C (Tabla 10) y precipitación media mensual de 71,09 mm (Tabla 11) de acuerdo a la estación meteorología de Apacheta registradas del año 2000 al 2018, tomado del trabajo de investigación de Moncada, Willems y Rojas (2020).

Tabla 10. Temperatura máxima media mensual del aire, mínima y máxima estacional (°C), en la microcuenca Apacheta desde el año 2000 al 2018.

Mes	Tmx Media	Tmx Min	Tmx Max
Enero	12,29	10,61	14,94
Febrero	12,09	10,71	13,34
Marzo	11,90	10,43	14,29
Abril	12,18	11,30	13,56
Mayo	12,69	11,80	13,88
Junio	12,41	11,07	13,55
Julio	12,14	10,21	13,83
Agosto	12,78	11,14	14,42
Setiembre	13,05	10,85	14,52
Octubre	13,63	11,70	14,84
Noviembre	14,66	13,10	15,80
Diciembre	12,91	11,35	14,66
Media	12,73	11,19	14,30

Fuente: Moncada et al., (2020)

Tabla 11. Precipitación acumulada media mensual, mínima y máxima estacional (mm), en la microcuenca Apacheta desde el año 2000 al 2018.

Mes	Pp Media	Pp Min	Pp Max
Enero	148,03	7,91	277,66
Febrero	141,16	6,55	296,58
Marzo	143,32	7,70	203,89
Abril	54,46	3,12	141,01
Mayo	21,25	1,05	63,91
Junio	10,49	1,16	46,07
Julio	13,43	1,07	33,43
Agosto	16,47	2,31	68,80
Setiembre	39,92	0,44	98,01
Octubre	52,16	2,46	84,08
Noviembre	61,02	1,17	120,80
Diciembre	151,34	69,50	241,60
Media	71,09	8,70	139,65

Fuente: Moncada et al., (2020)

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Suelos de tres bofedales de la microcuenca Apacheta de la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

3.4.2. Muestra

Ciento sesenta y ocho muestras de suelo de tres bofedales de la microcuenca Apacheta, recolectando 84 muestras de suelo por temporada (seca y húmeda), teniendo 27 muestras de suelo del bofedal Churia, 27 muestras de suelo del bofedal Chaqirayoq y 30 muestras de suelo del bofedal Pantiumpampa.

3.4.3. Diseño de muestreo

En cada bofedal se realizó un muestreo determinístico para la ubicación de los tres transectos transversales (T. alto, T. medio y T. bajo), en cada transecto se realizó un muestreo sistemático por cuadrante (calicata), ubicando el punto de inicio (a 15 metros del borde del bofedal), medio y final (C1, C2 y C3), distanciados cada 80 metros, dos ubicadas en la parte extrema y una en la parte media del transecto en los bofedales de Churia y Chaqirayoq, teniendo un total de nueve calicatas por bofedal (Figura 4 y 5), sin embargo, debido a la extensión del área del bofedal Pantiumpampa se realizó en el transecto alto cuatro calicatas (C1, C2, C3 y C4), obteniendo un total de 10 calicatas (Figura 6). En cada calicata se realizó un muestreo sistemático (cada 20 cm de profundidad) (Figura 3), se obtuvieron muestras de suelo de 500 g a 20 cm, 40 cm y 60 cm de profundidad, teniendo 27 muestras de suelo del bofedal Churia, 27 muestras de suelo del bofedal Chaqirayoq y 30 muestras de suelo del bofedal Pantiumpampa, (Tabla 12), resultando un total de 84 muestras de suelo en la temporada húmeda y 84 en la temporada seca, teniendo un total de 168 muestras de suelo.

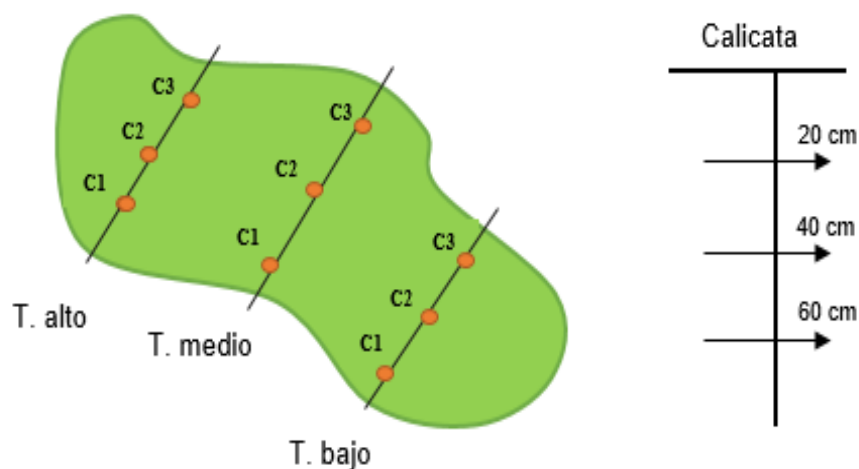


Figura 3. Esquema del diseño de muestreo de suelo en el bofedal.

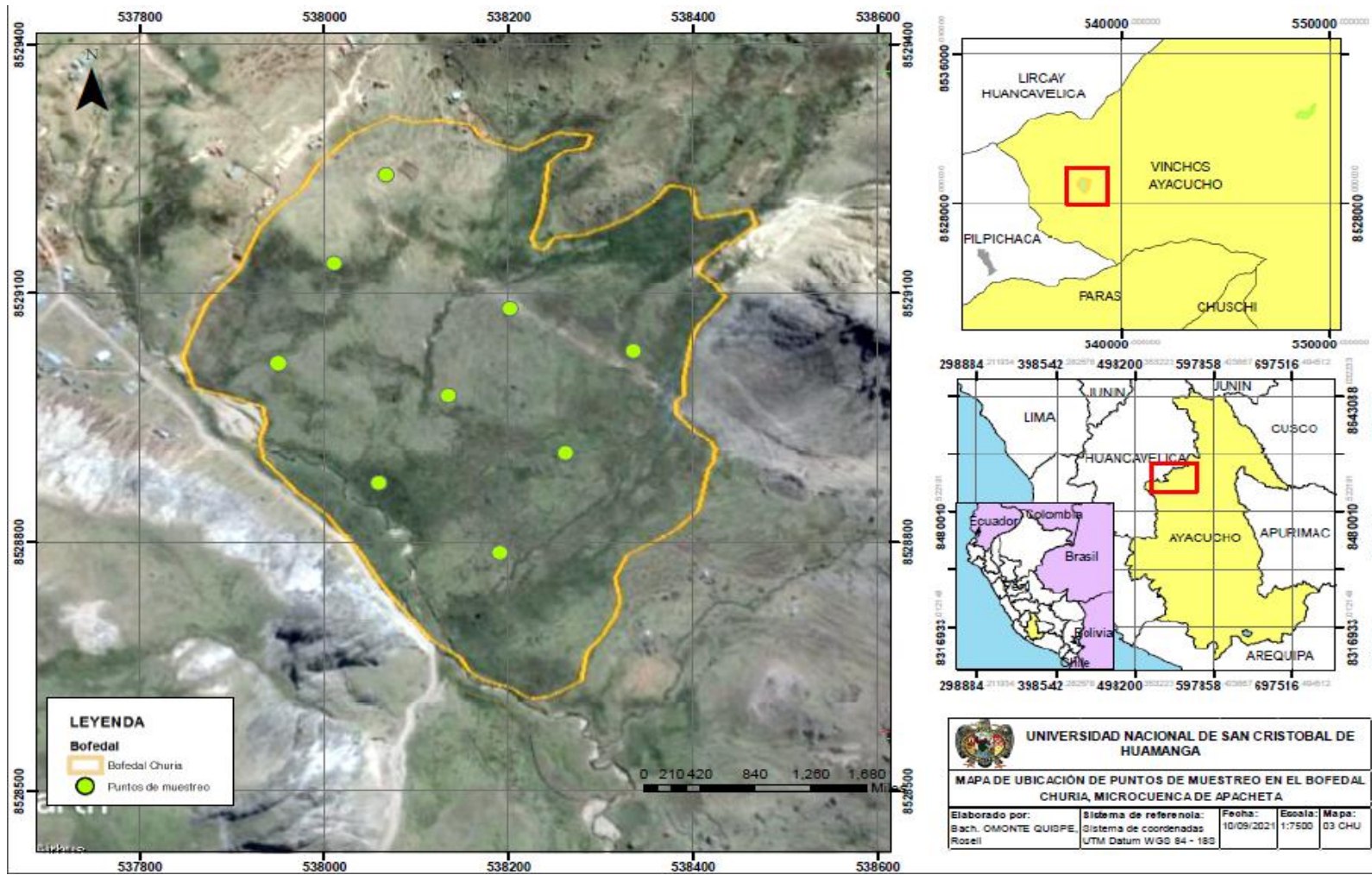


Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el bofedal de Churia, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

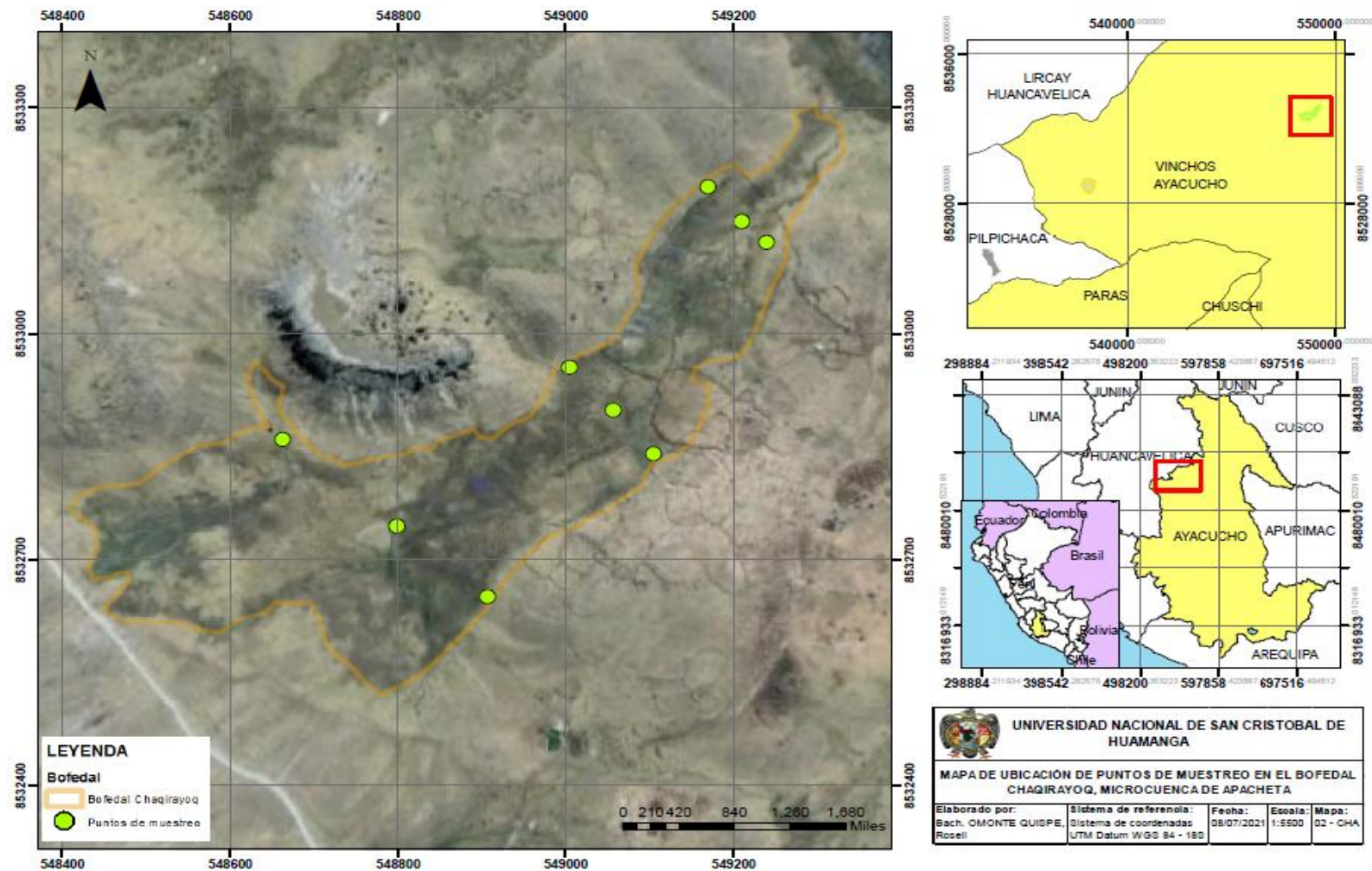


Figura 5. Mapa de ubicación de los puntos de muestro en el bofedal Chaquirayoq, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

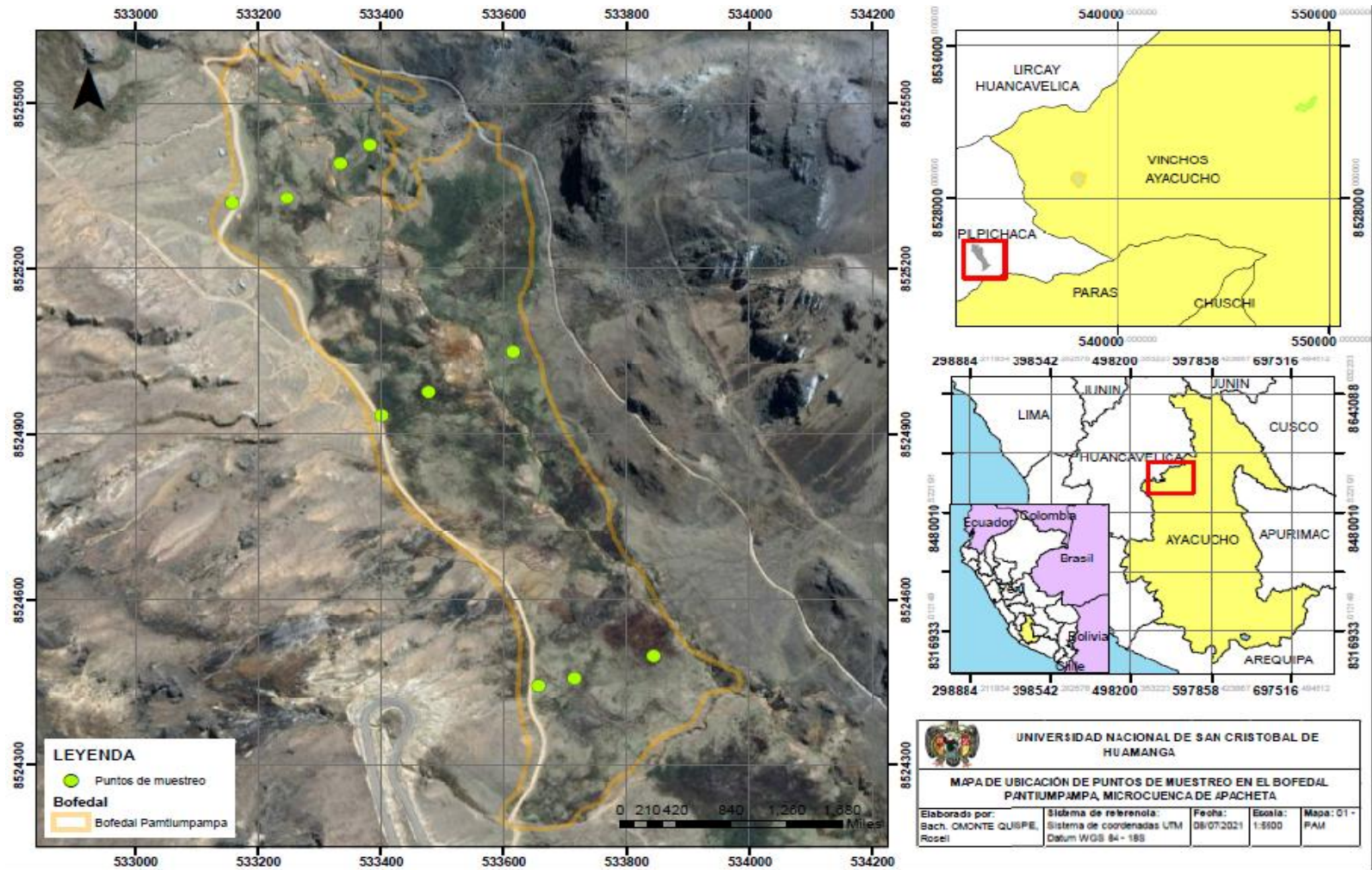


Figura 6. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el bofedal Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Tabla 12. Coordenadas de los transectos evaluados en temporadas seca y húmeda en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Bofedal	Transecto	Calicata	Temporada seca			Temporada húmeda			
			Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	
Churia	T1	C1	538015	8529246	4302	538027	8529253	4214	
		C2	538139	8529190	4299	538273	8529121	4236	
		C3	538307	8529071	4335	538397	8529087	4249	
	T2	C1	537987	8529105	4295	537949	8529122	4207	
		C2	538277	8529024	4321	538121	8528963	4204	
		C3	537988	8528941	4310	538255	8528804	4199	
	T3	C1	537988	8528941	4310	537933	8528981	4199	
		C2	538087	8528871	4305	538068	8528884	4195	
		C3	538224	8528755	4391	538254	8528538	4190	
	Chaqira yoq	T1	C1	548907	8532650	4211	548896	8532626	4156
			C2	548799	8532744	4215	548821	8532720	4156
			C3	548663	8532859	4230	548670	8532847	4167
T2		C1	549105	8532840	4193	549088	8532840	4137	
		C2	549057	8532898	4185	549049	8532897	4137	
		C3	549008	853263	4187	549000	8532953	4143	
T3		C1	549240	8533121	4167	549244	8533118	4118	
		C2	549210	8533149	4166	549215	8533150	4117	
		C3	549170	8533195	4177	549173	8533198	4128	
Pantium pampa		T1	C1	533159	8525318	4221	533106	8525348	4175
			C2	533246	8525328	4218	533164	8525327	4170
			C3	533333	8525391	4218	533252	8525350	4162
	T2	C4	533400	8524934	4224	533341	8525406	4161	
		C1	533400	8524934	4224	533375	8524970	4348	
		C2	533477	8524976	4235	533420	8525057	4171	
	T3	C3	533615	8525050	4223	533482	8525101	4215	
		C1	533656	8524444	4243	533553	8524724	4342	
		C2	533715	8524457	4247	533592	8524834	4302	
			C3	533844	8524497	4239	533131	8524928	4300

3.5. Metodología y recolección de muestras

3.5.1. Ubicación de los puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo se realizó por medio de un muestreo determinístico para la ubicación de los transectos transversales y un muestreo sistemático para la ubicación de las calicatas, cada calicata fue georreferenciada

con un GPS Garmin modelo Montana 650 registrándose las coordenadas geográficas y altitud, y codificadas según bofedal, transecto y número de calicata como se muestran a detalle en los anexos, para el bofedal Churia (Anexo 1), bofedal Chaqirayoc (Anexo 2) y bofedal Pantumpampa (Anexo 3).

3.5.2. Toma y procesamiento de muestras de suelo

a) Colección y codificación de las muestras de suelo

Se recolectaron un aproximado de 500 g de muestras de suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad por calicata, se colectaron 27 muestras de suelo del bofedal Churia, 27 muestras de suelo del bofedal Chaqirayoc y 30 muestras de suelo del bofedal Pantumpampa, con un total de 84 muestras de los tres bofedales en cada temporada.

Cada muestra de suelo fueron colocadas en bolsas Ziploc debidamente codificadas donde se colocó información básica (Nombre del bofedal, transecto, calicata, profundidad de suelo y altitud), para su posterior identificación, las bolsas ziploc contenidas de muestras de suelo fueron colocadas en el cooler y trasladado al laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para el procesamiento y posterior análisis fisicoquímico.

b) Procesamiento de las muestras de suelo

• Secado al aire

Las muestras de suelo ingresadas al laboratorio fueron colocadas en bandejas plásticas debidamente codificadas, se extrajo partículas grandes de suelo y se trató de esparcir con la ayuda de una varilla la muestra para su rápido secado, el secado de suelo se realizó a temperatura ambiente durante dos a tres días, dependiendo del grado de humedad de las muestras de suelo.

• Molienda

Una vez seca las muestras de suelo se procedieron a molerlas usando un mortero, para luego pasarlo por un tamiz de 2 mm de diámetro, luego fueron colocadas en bolsas ziploc codificadas para su posterior análisis fisicoquímico.

c) Análisis de los parámetros fisicoquímico del suelo

El análisis fisicoquímico se realizó en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. En la Tabla 13 se muestran las diferentes metodologías empleadas en los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo.

Tabla 13. Metodologías empleadas en el análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo de los bofedales.

Parámetro	Unidad	Método
Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio
Carbono orgánico	%	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio
Densidad aparente	g/cm ³	Método probeta
Textura	% arena, limo y arcilla	Método hidrómetro de Bouyoucos
pH	-	Medición con el multiparámetro Hanna, de la suspensión de suelo y agua en una relación homogénea.
Conductividad eléctrica	μS/cm	Medición de sales solubles, medición con un multiparámetro Hanna, de la suspensión de suelo y agua en relación homogénea
Humedad volumétrica	%	Cálculos

d) Determinación de la materia orgánica

La materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black con el dicromato de potasio 4 N.

- Se pesó ≤ 0,5 g de muestra de suelo en una balanza analítica.
- Se colocó la muestra de suelo en un matraz de 100 ml.
- Seguidamente se le agregó 10 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico.
- Se esperó a que enfríe la muestra durante una hora, luego se le enrazó con agua destilada hasta llevar a un volumen final de 100 ml.
- Luego se tomó 10 ml de muestra con una pipeta y se colocó en un matraz de 200 ml y se agregó tres gotas del indicador de difenilamina.
- Luego se tituló con la solución de sulfato ferroso 0,2 N y se anotó el gasto.
- Se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo.

$$\% MO = \frac{10 (1,724 * 0,2 * 0,4)(Vbk - Vgm)}{\text{peso (g)}}$$

Dónde:

%MO = Materia orgánica (%)

Vbk = volumen del gasto del blanco.

Vgm = volumen del gasto de la muestra.

e) Determinación del carbono orgánico

El porcentaje del carbono orgánico (%CO) se determinó a través del siguiente cálculo.

$$\%CO = \frac{\%MO}{1,724}$$

Dónde:

%CO= Porcentaje de carbono en el suelo calculado.

%MO = Materia Orgánica (%)

Factor de Van Benmelen de 1,724.

f) Determinación de la densidad aparente

Se utilizó el método probeta para el cálculo.

- Se pesó 50 g de suelo seco, molido y tamizado.
- Se colocó en una probeta graduada de 100 ml, seguidamente se dio un par de golpes suaves.
- Finalmente se procedió a medir el volumen que ocupó la masa del suelo y se anotó para los cálculos posteriores.

Cálculos:

$$da (g/cm^3) = Mss/Vt$$

Dónde:

da= densidad aparente

Mss= masa de sólidos secos

Vt= volumen total

g) Cuantificación del carbono orgánico del suelo (tC/ha)

Con los datos del porcentaje del carbono orgánico (%CO) y la densidad aparente del suelo se utilizó para el cálculo del COS con la siguiente ecuación:

$$COS = \%CO * 100 * \rho a * P$$

Dónde:

COS: Carbono orgánico del suelo (tC/ha)

ρa : Densidad aparente del suelo medido en (g/cm^3).

P: Es la profundidad a la cual se tomó la muestra (cm)

%CO: Es el porcentaje en peso de carbono orgánico en el suelo

h) Determinación de la textura

Para la determinación de la textura, se enviaron las muestras de suelo al Centro Experimental del Programa de Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

La textura se determinó mediante el método hidrómetro de Bouyoucos, donde se determinó el % de arena, % limo y % arcilla, y con la ayuda del triángulo de textura (Figura 1) se determinó la clase textural del suelo.

i) Determinación del pH y la conductividad eléctrica

El pH y la conductividad eléctrica se determinaron con la ayuda de un multiparámetro Hanna.

- Se pesó 10 g de suelo y se agregó 10 ml de agua destilada, seguidamente se procedió a mezclar hasta obtener una mezcla homogénea.
- Luego se colocó el multiparámetro en la solución y se procedió a medir la conductividad eléctrica y el pH.

j) Determinación de la humedad volumétrica del suelo

La humedad volumétrica fue fácilmente obtenida a partir de la humedad gravimétrica y la densidad aparente del suelo, para el cual se realizó la siguiente ecuación.

Cálculos:

$$\theta_v = \theta_m * da$$

Dónde:

θ_v = contenido volumétrico de agua del suelo (%)

da = densidad aparente

θ_m = contenido gravimétrico de agua del suelo (%)

Cálculo de la humedad gravimétrica:

$$\theta_m = ((Msh - Mss)/Mss) * 100$$

Dónde:

θ_m = contenido gravimétrico de agua del suelo (%)

Msh = masa del suelo húmedo (g)

Mss = masa del suelo seco (g)

Msh - Mss = masa de agua

3.6. Análisis de los datos

A partir de los resultados obtenidos se determinó los principales estadísticos descriptivos, se utilizó el programa de SPSS Statistics 24, se calculó la prueba de normalidad (Kolmogorov- Smirnov), y a partir del cual se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (datos no paramétricos) y el Análisis de Varianza (ANOVA) (datos paramétricos) con un nivel de significancia ($\alpha=,05$); para determinar las posibles diferencias entre los tres bofedales, las profundidades del suelo y las temporadas. Para determinar la relación que existe entre el carbono orgánico del suelo y la profundidad del suelo con los parámetros fisicoquímicos, se realizó el análisis de correlación no paramétrica de Rho de Spearman, el cual mide la relación entre dos variables, con un nivel de significancia de ,05 y ,01 según el grado de significancia entre las variables.

IV. RESULTADOS

Tabla 14. Contenido de carbono orgánico en tres profundidades del suelo en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Bofedal	Profundidad (cm)	densidad aparente (g/cm³)	MO (%)	CO (%)	COS (tC/ha)	Total de COS (tC/ha)
Churia	20	0,89	12,94	7,51	133,68	330,16
	40	0,95	9,40	5,45	103,55	
	60	0,97	8,26	4,79	92,93	
Chaqirayoq	20	0,74	19,42	11,26	166,65	343,18
	40	0,80	10,96	6,36	101,76	
	60	0,93	6,93	4,02	74,77	
Pantiumpampa	20	0,63	43,88	25,39	319,91	959,15
	40	0,64	43,06	24,97	319,62	
	60	0,70	39,36	22,83	319,62	

COS: carbono orgánico del suelo

CO: carbono orgánico

MO: materia orgánica

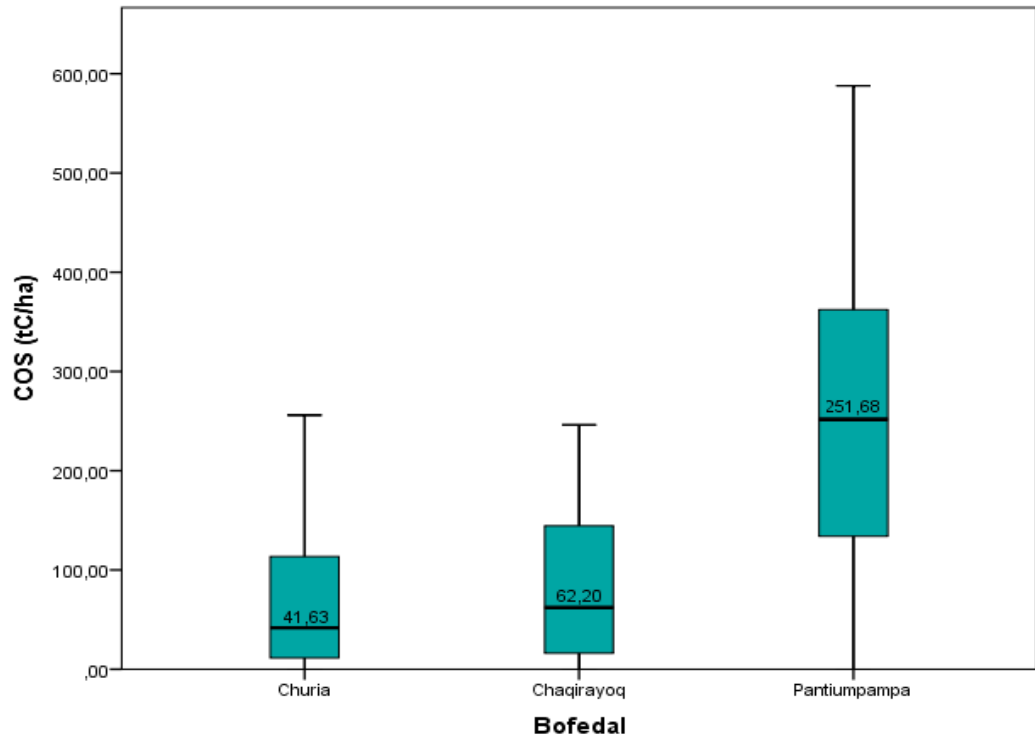
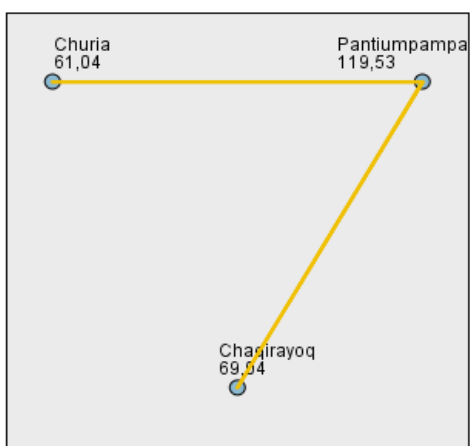


Figura 7. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,000$) del COS en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Bofedal



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Bofedal.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Churia-Chaqirayoq	-8,000	9,354	-,855	,392	1,000
Churia-Pantiumpampa	-58,496	9,117	-6,416	,000	,000
Chaqirayoq-Pantiumpampa	-50,496	9,117	-5,538	,000	,000

Figura 8. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para el COS en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

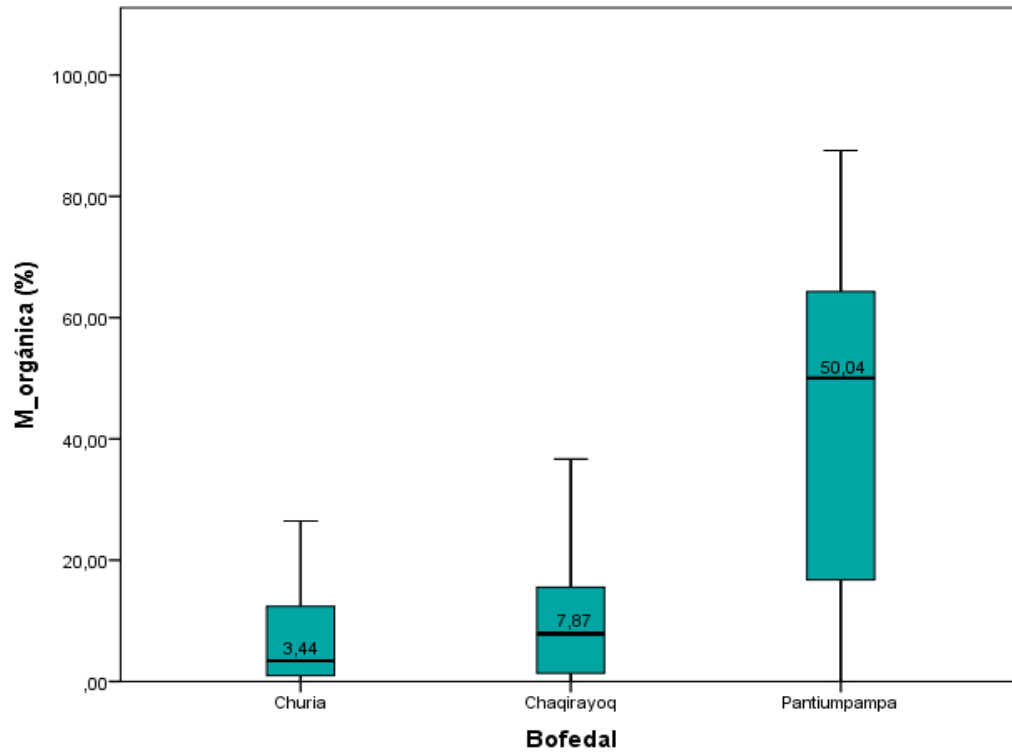
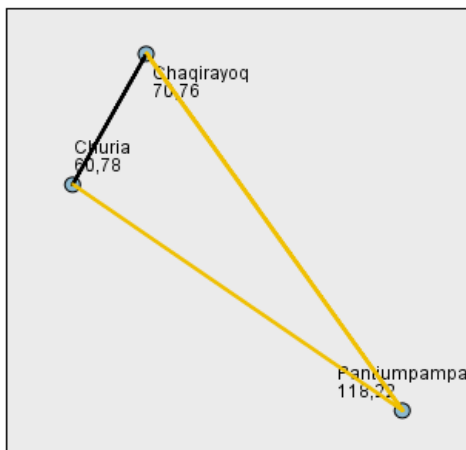


Figura 9. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,000$) de la materia orgánica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Bofedal



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Bofedal.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Churia-Chaqirayoq	-9,981	9,354	-1,067	,286	,858
Churia-Pantumpampa	-57,439	9,117	-6,300	,000	,000
Chaqirayoq-Pantumpampa	-47,457	9,117	-5,205	,000	,000

Figura 10. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para la materia orgánica en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

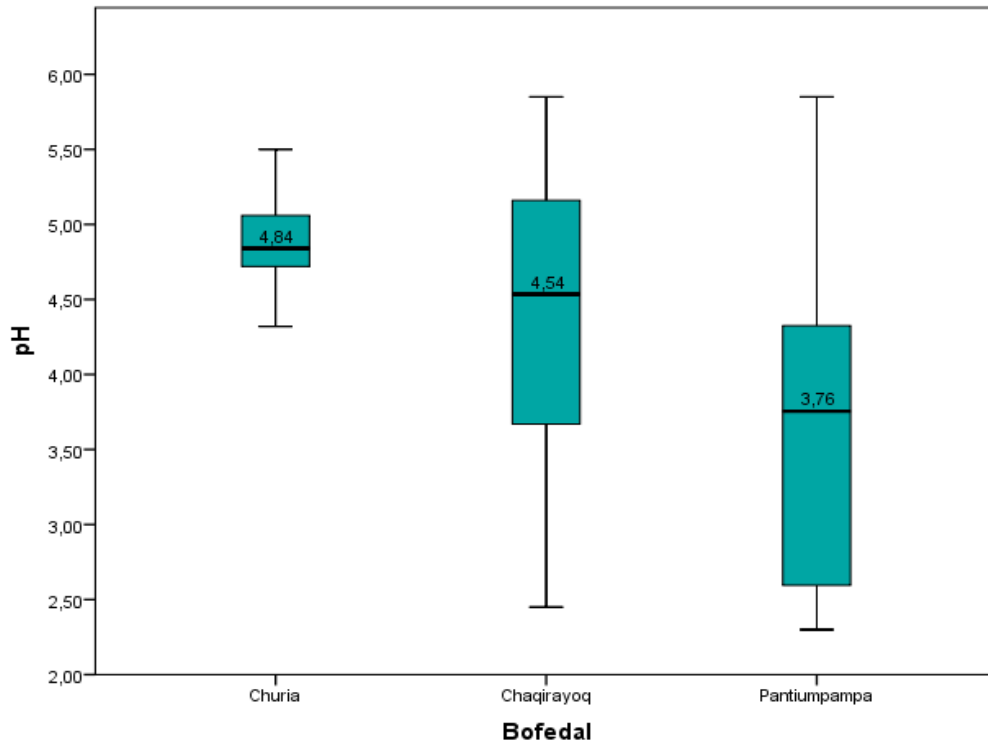
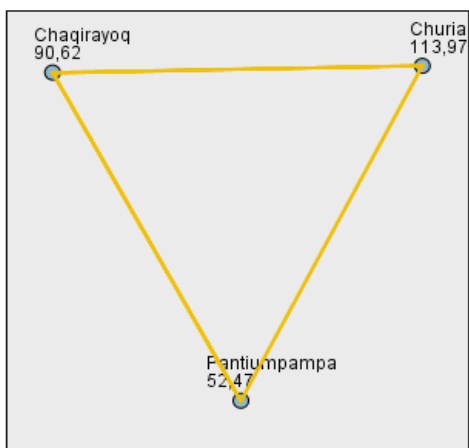


Figura 11. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,000$) del pH en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Bofedal



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Bofedal.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Pantumpampa-Chaqirayoc	38,154	9,124	4,182	,000	,000
Pantumpampa-Churia	61,506	9,124	6,741	,000	,000
Chaqirayoc-Churia	23,352	9,361	2,495	,013	,038

Figura 12. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal – Wallis del pH en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

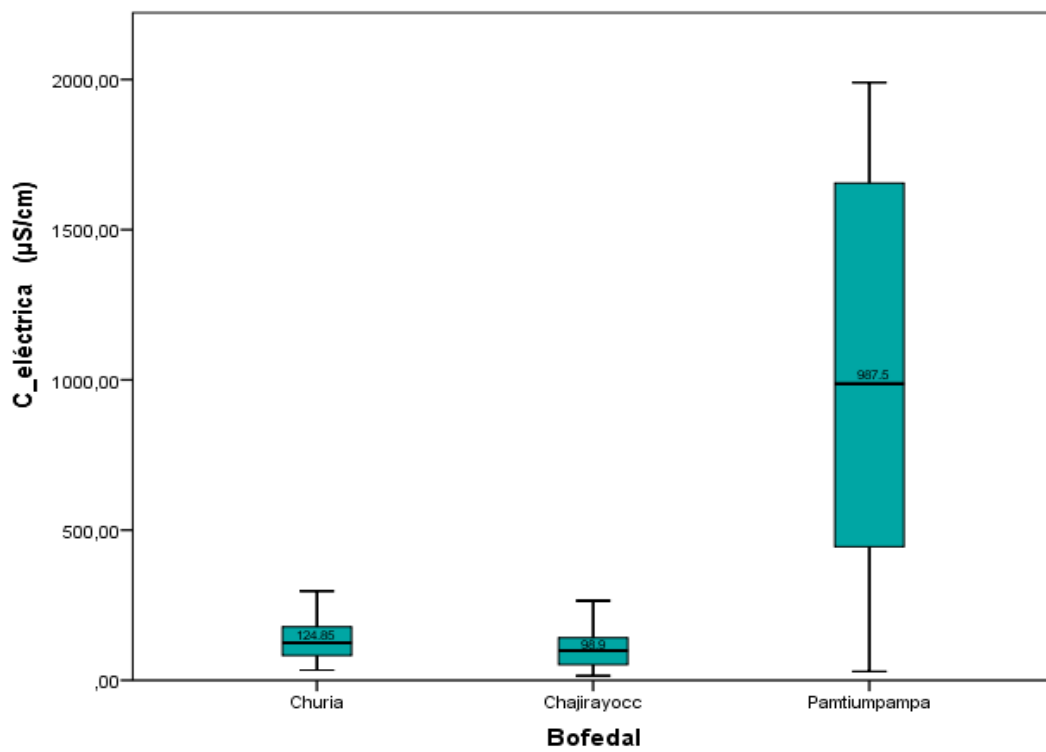
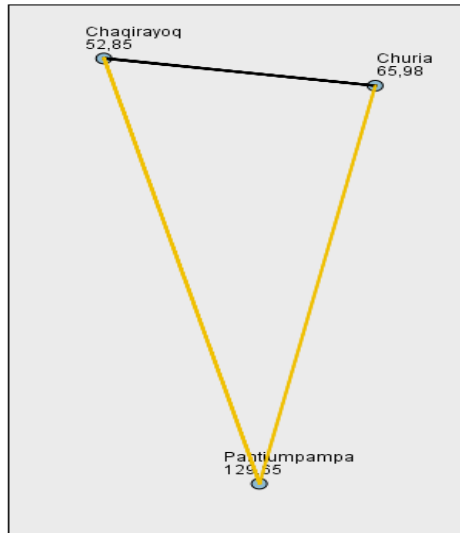


Figura 13. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,000$) de la conductividad eléctrica en los bofedales de Churia, Chajirayoc y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Bofedal



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Bofedal.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Chagirayoq-Churia	13,130	9,361	1,403	,161	,482
Chagirayoq-Pantumpampa	-76,798	9,124	-8,417	,000	,000
Churia-Pantumpampa	-63,669	9,124	-6,978	,000	,000

Figura 14. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal – Wallis de la conductividad eléctrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

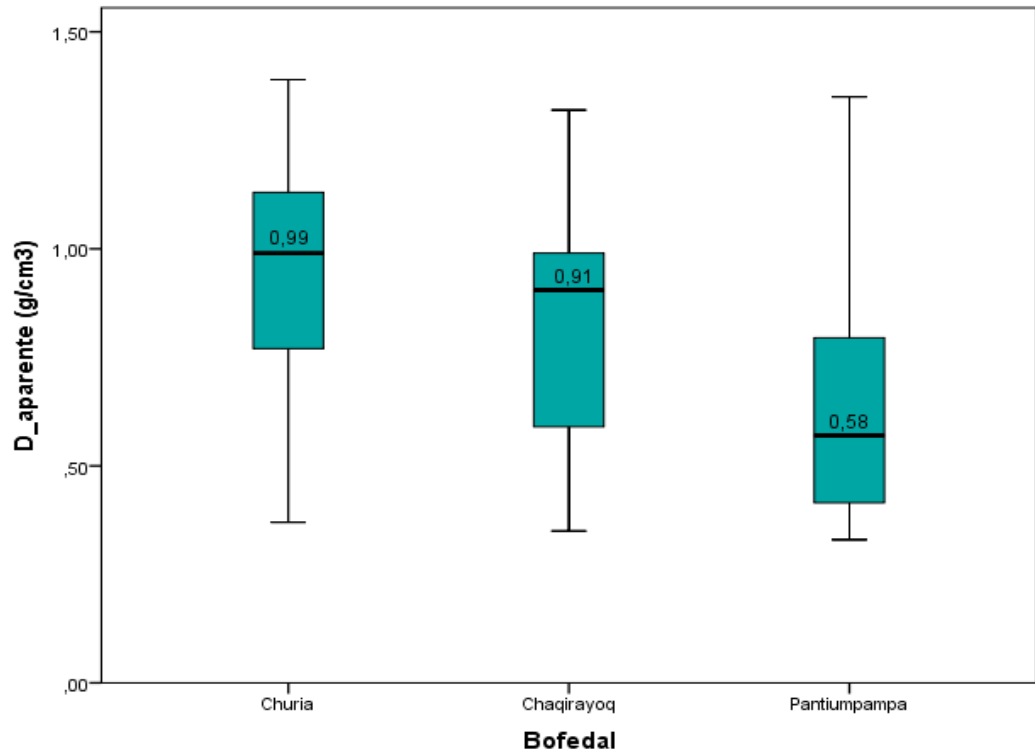
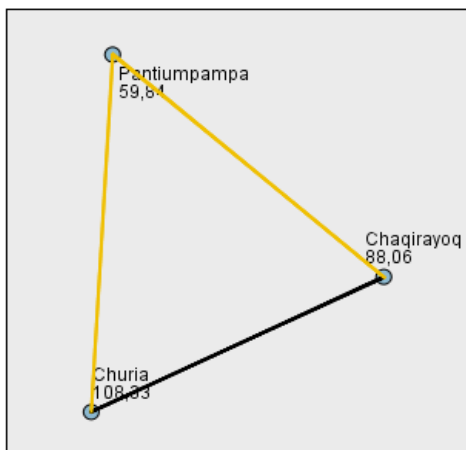


Figura 15. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,000$) de la densidad aparente en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Bofedal



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Bofedal.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Pantumpampa-Chaqirayoc	28,223	9,121	3,094	,002	,006
Pantumpampa-Churia	48,492	9,121	5,316	,000	,000
Chaqirayoc-Churia	20,269	9,358	2,166	,030	,091

Figura 16. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis de la densidad aparente en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuena Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

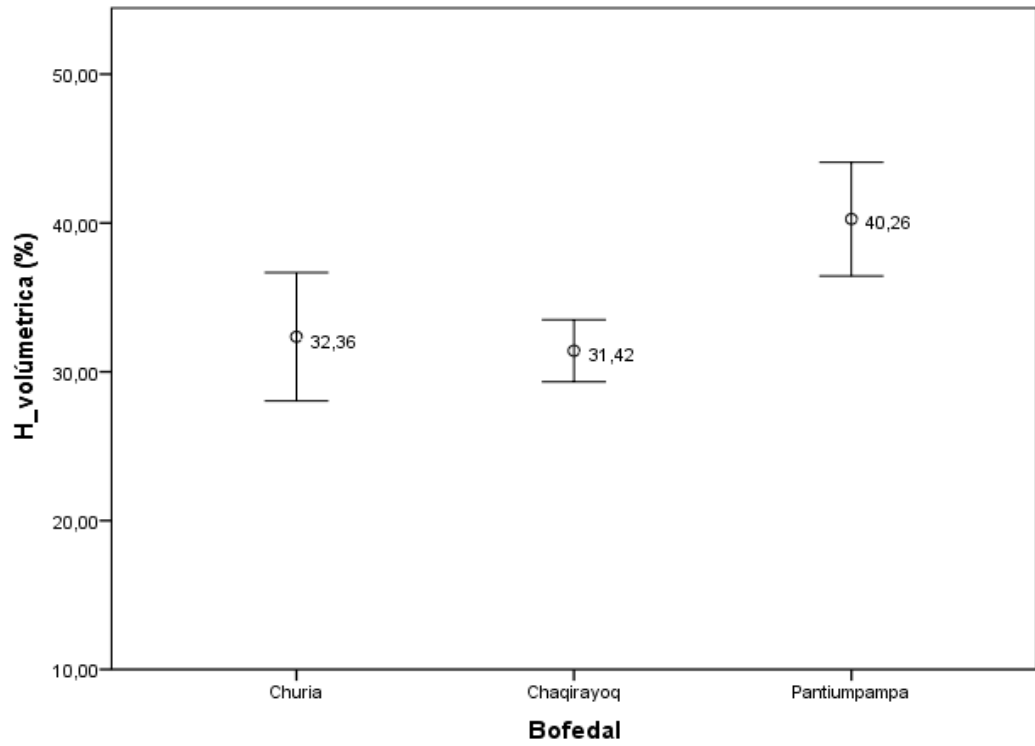


Figura 17. Medias de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

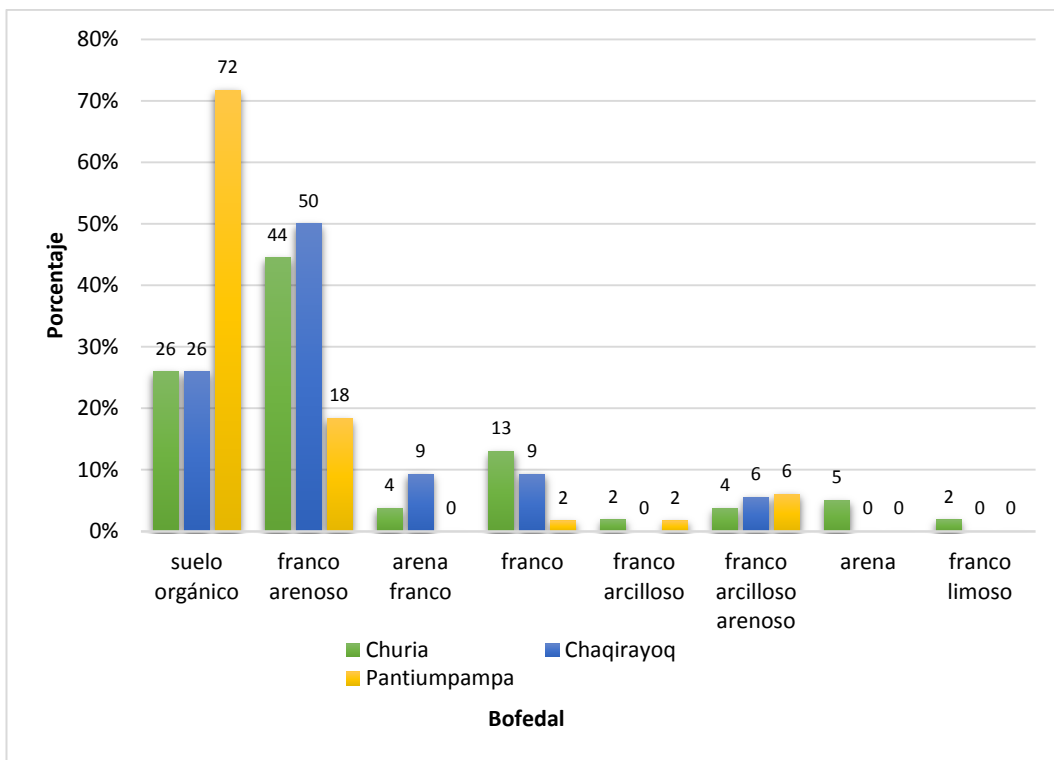


Figura 18. Porcentaje de la clase textural del suelo presente en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 – 2017.

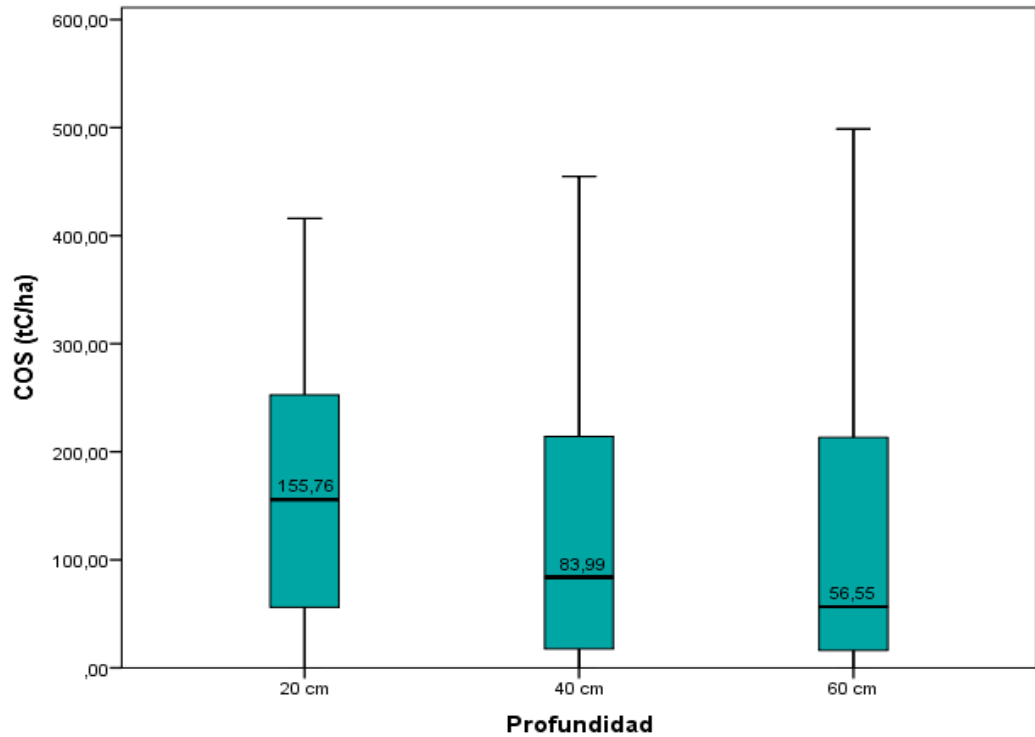
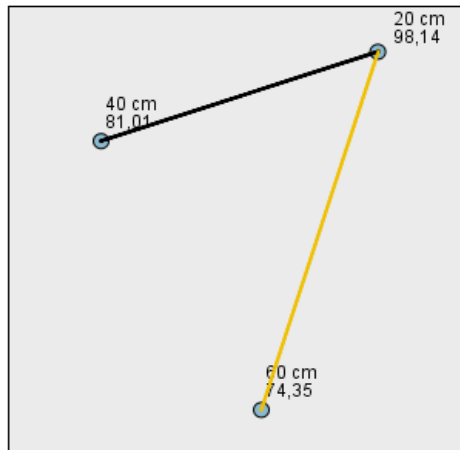


Figura 19. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,028$) del COS a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Profundidad



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Profundidad.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
60 cm-40 cm	6,661	9,186	,725	,468	1,000
60 cm-20 cm	23,795	9,186	2,590	,010	,029
40 cm-20 cm	17,134	9,186	1,865	,062	,186

Figura 20. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis para el COS a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

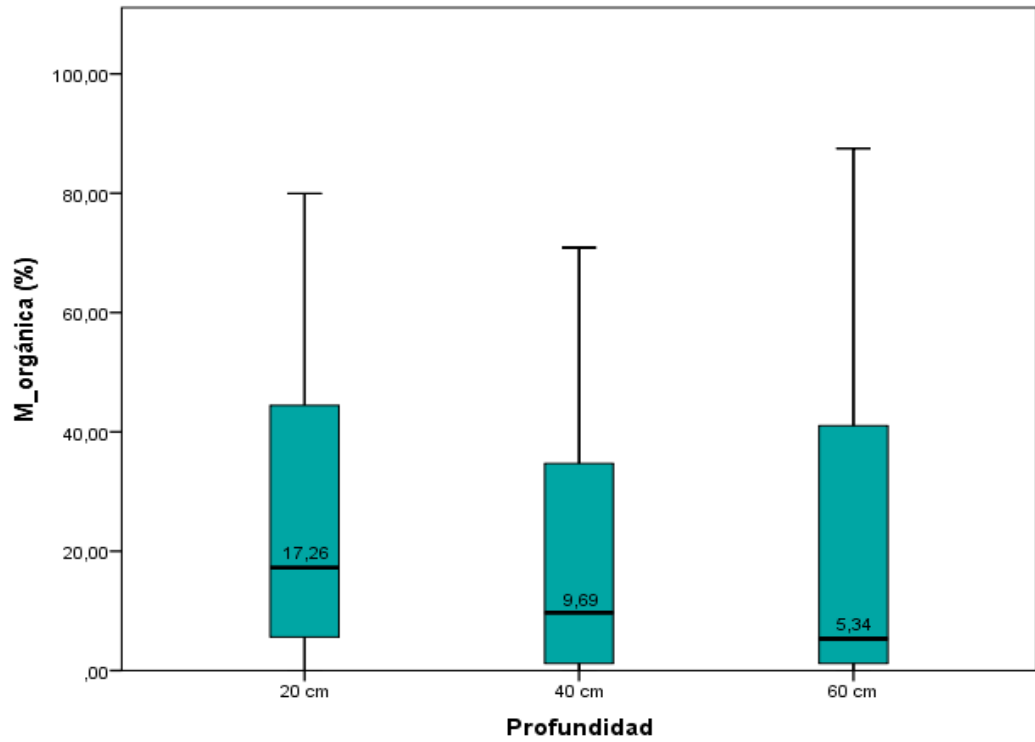
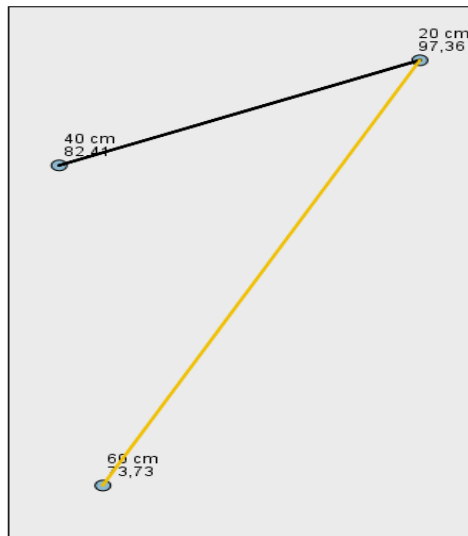


Figura 21. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,034$) de la materia orgánica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Comparaciones entre parejas de Profundidad



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Profundidad.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
60 cm-40 cm	8,679	9,186	,945	,345	1,000
60 cm-20 cm	23,625	9,186	2,572	,010	,030
40 cm-20 cm	14,946	9,186	1,627	,104	,311

Figura 22. Comparación por pareja de la prueba de Kruskal–Wallis de la materia orgánica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

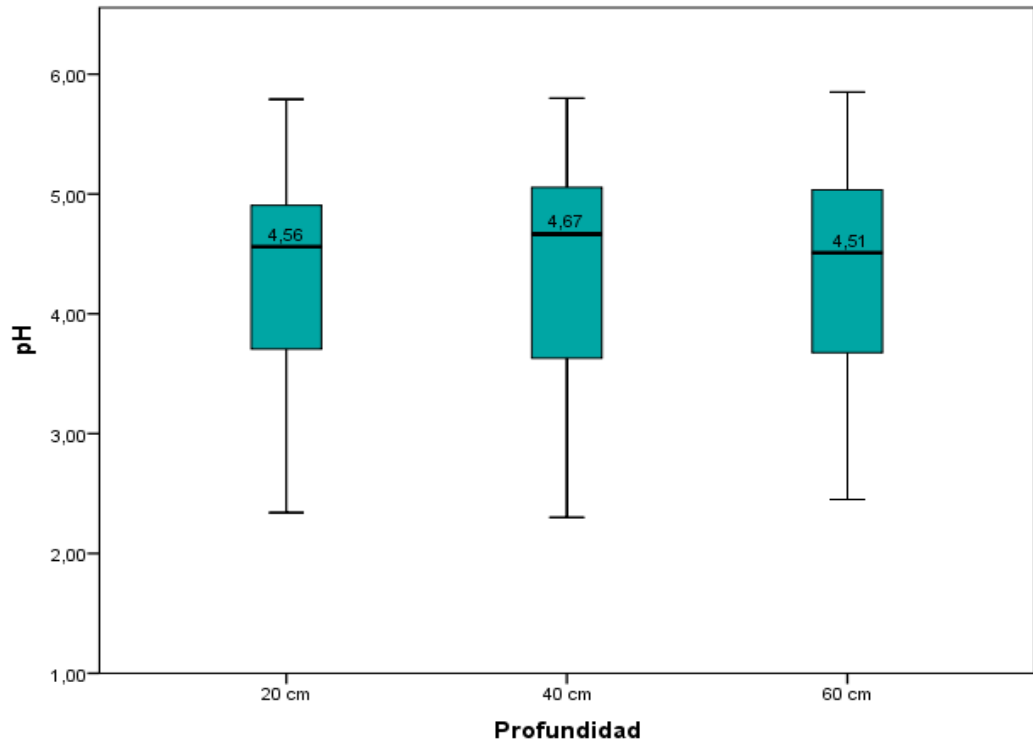


Figura 23. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,882$) del pH a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

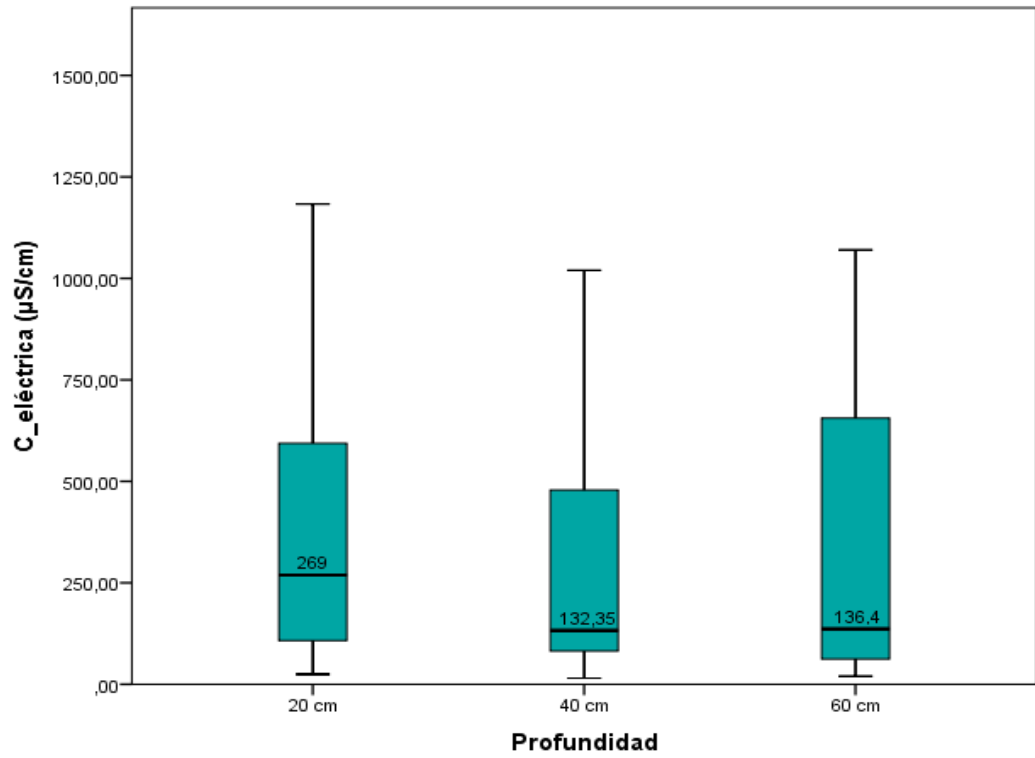


Figura 24. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,341$) de la conductividad eléctrica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

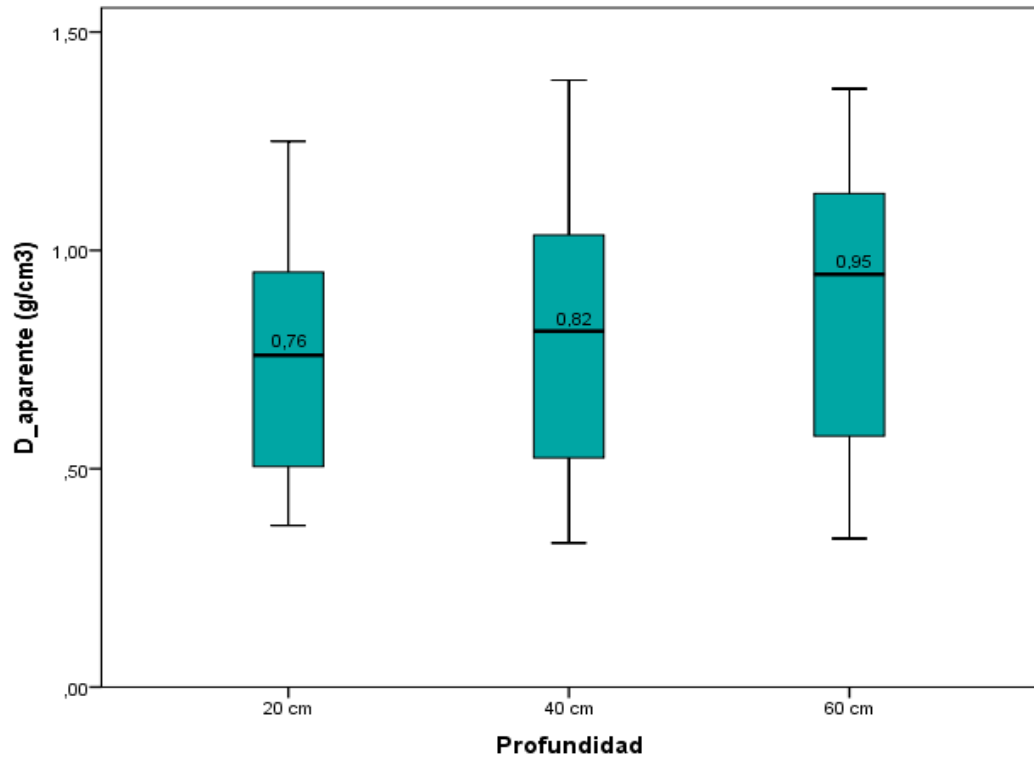


Figura 25. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,109$) de la densidad aparente a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

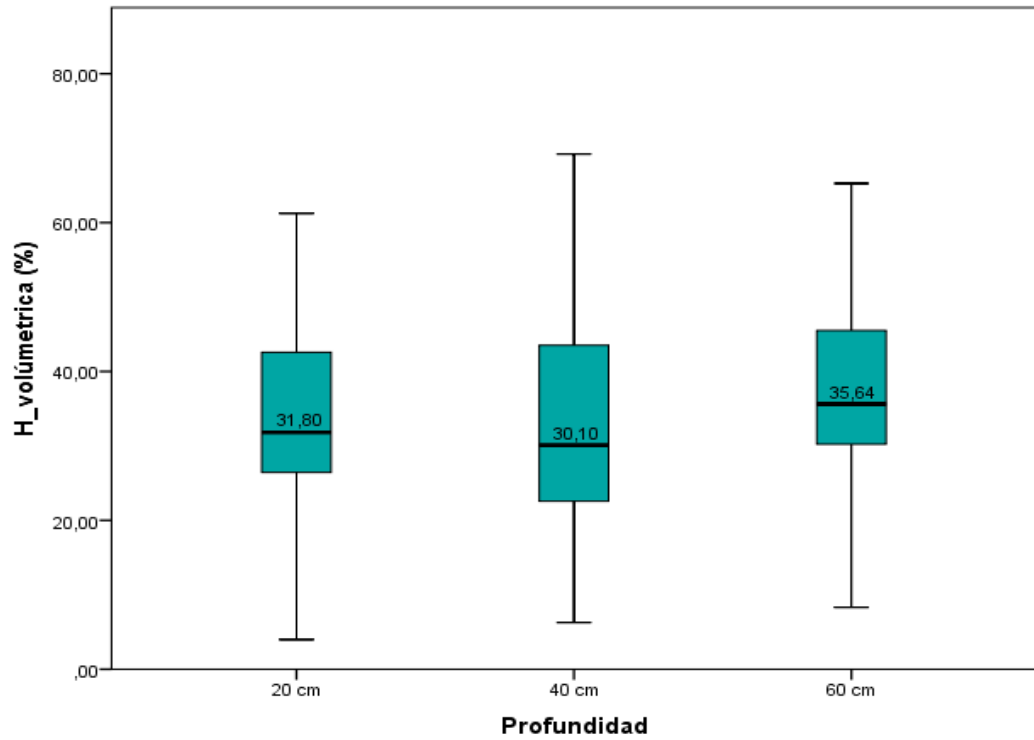


Figura 26. Diagrama de caja y bigotes de la Prueba de Kruskal- Wallis ($n=168$; $gl=2$; $p=,113$) de la humedad volumétrica a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

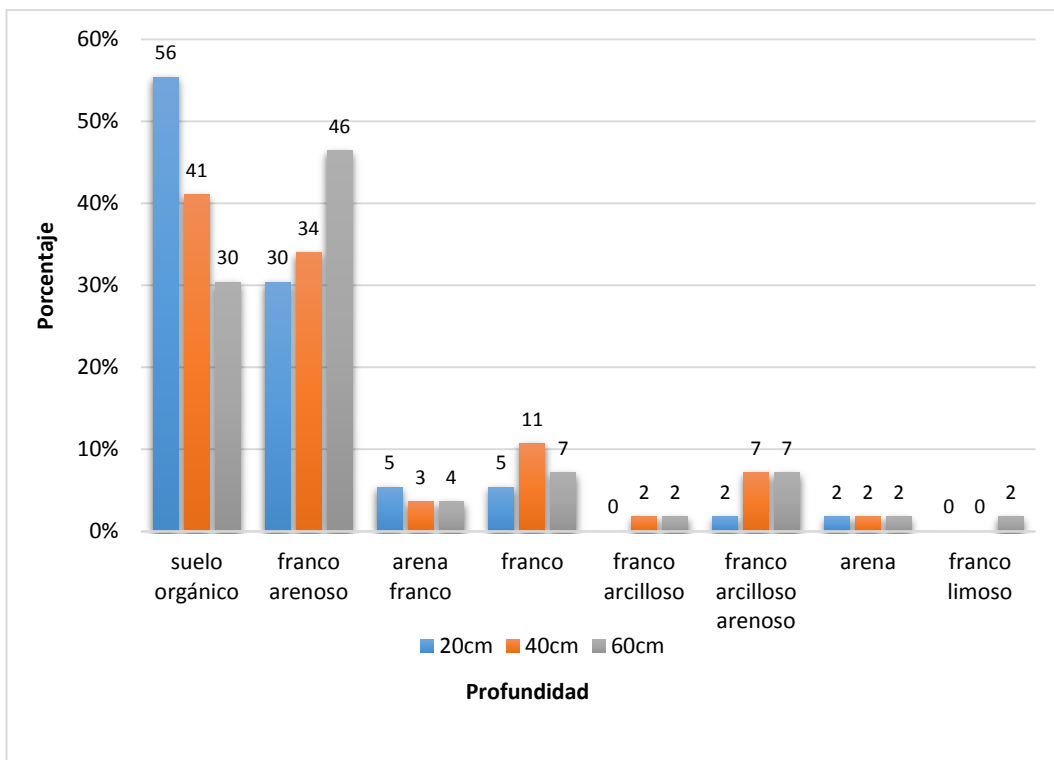


Figura 27. Porcentaje de las clases texturales del suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad del suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 – 2017.

Tabla 15. Correlación de Spearman entre la profundidad del suelo con el carbono orgánico del suelo en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Correlación		COS (tC/ha)
Rho de Spearman (r)	profundidad de suelo	coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N
		-,200** ,009 168

** . La correlación es significativa al nivel ,01 (bilateral)

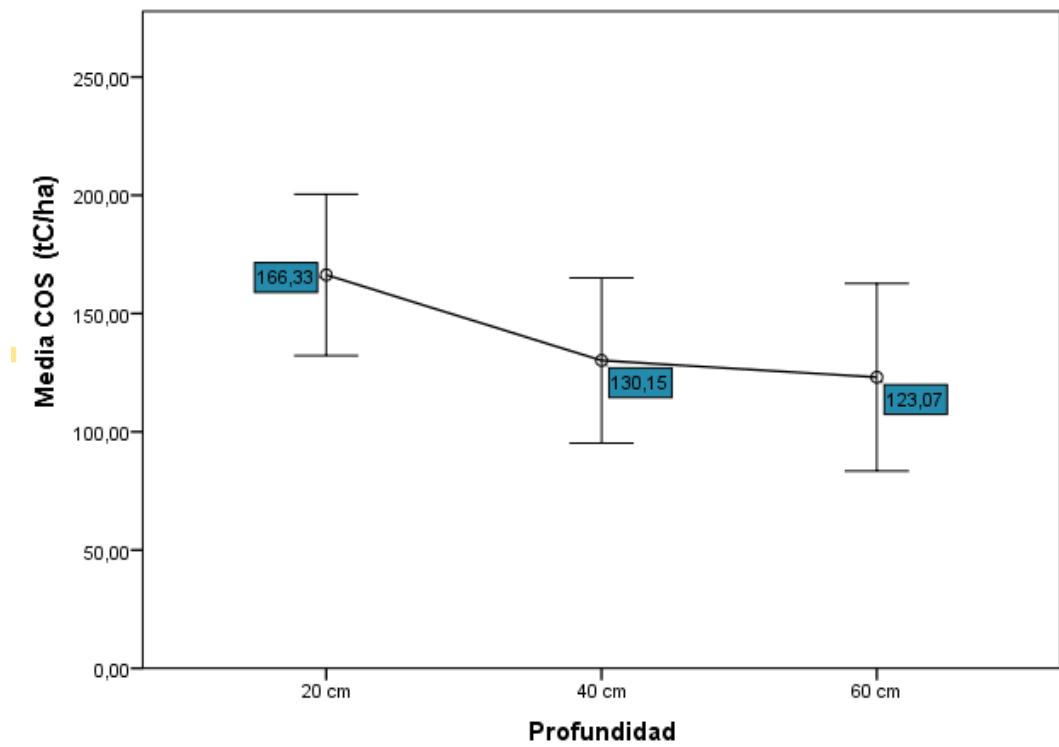


Figura 28. Relación del contenido de carbono orgánico del suelo con la profundidad del suelo a 20, 40 y 60 cm en los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

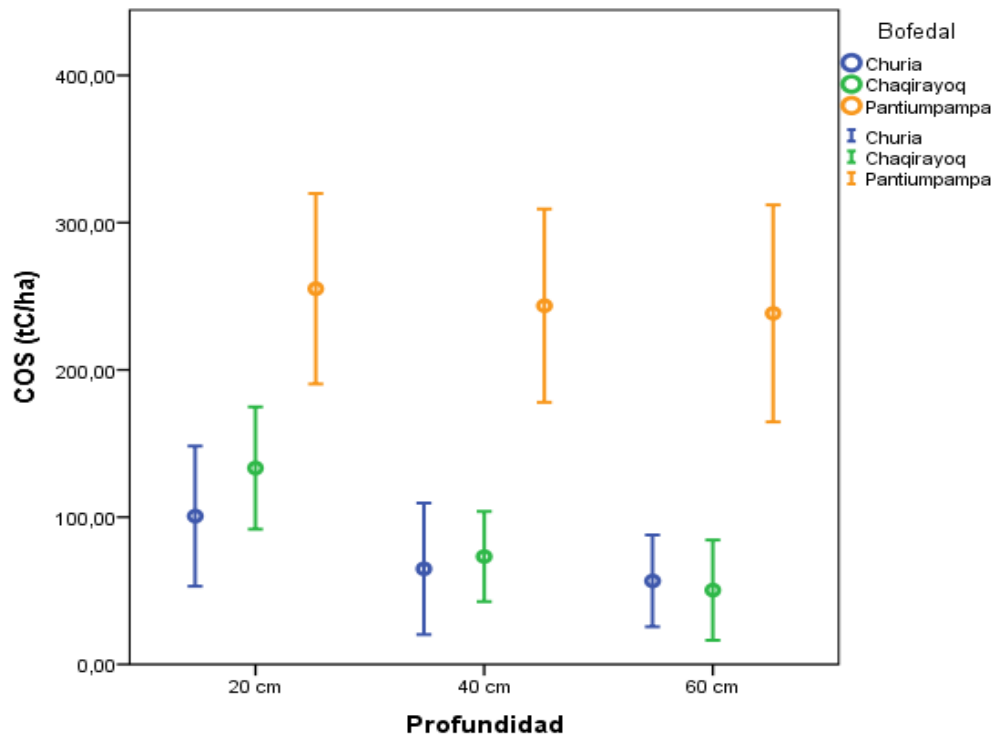


Figura 29. Carbono orgánico del suelo de los tres bofedales a diferentes profundidades, microcuenca Apacheta Ayacucho 2016-2017.

Tabla 16. Correlación de Spearman del carbono orgánico del suelo y la profundidad del suelo con los parámetros fisicoquímicos evaluados en los tres bofedales, microcuena Apacheta Ayacucho 2016-2017.

		Materia orgánica	pH	Coef. eléctrica	textura	Densidad aparente	Humedad volumétrica	
Rho de Spearman	Profundidad	Coeficiente de correlación	,985**	-,302**	,703**	,118	-,802**	,319**
		Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,128	,000	,000
		N	168	168	168	168	168	168
	COS (tC/ha)	Coeficiente de correlación	-,199**	,039	-,102	-,044	,160*	,089
		Sig. (bilateral)	,010	,618	,190	,568	,038	,252
		N	168	168	168	168	168	168

** . La correlación es significativa en el nivel ,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel ,05 (bilateral).

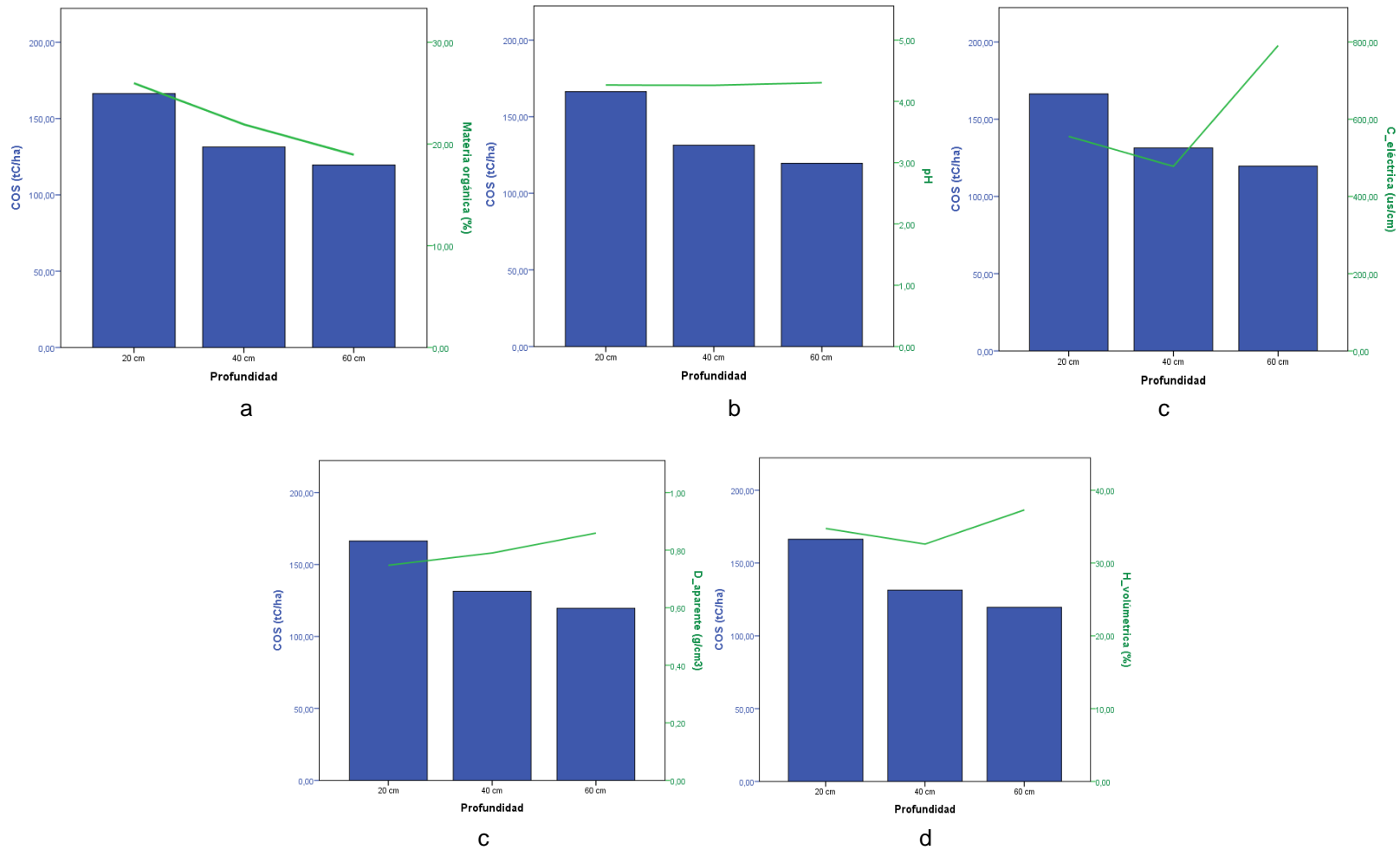


Figura 30. Tendencias correlacionales entre las variables del COS con la conductividad eléctrica, pH, densidad aparente, humedad volumétrica y materia orgánica en relación a la profundidad del suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) y las características fisicoquímicas del suelo a diferentes profundidades del suelo en los tres bofedales altoandinos en el presente trabajo de investigación, se muestran en las tablas y figuras respectivamente, en la Tabla 14 se observa la cantidad de COS almacenados a 20, 40 y 60 cm de profundidad en los tres bofedales, los resultados muestran diferencias significativas en sus promedios por profundidad y valoración total de COS por bofedal, registrándose valores altos por profundidad en el bofedal Pantumpampa de 319,91 tC/ha a 20 cm; 319,62 tC/ha a 40 cm y 319,62 tC/ha a 60 cm; seguidos de Chaqirayoq con 166,65 tC/ha a 20 cm; 101,76 tC/ha a 40 cm y 74,77 tC/ha a 60 cm y Churia con 133,68 tC/ha a 20 cm; 103,55 tC/ha a 40 cm y 92,93 tC/ha a 60 cm; y con una valoración total del COS almacenado mayor en el bofedal Pantumpampa (959,15 tC/ha), seguidos por los bofedales Chaqirayoq (343,18 tC/ha) y Churia (330,16 tC/ha), los cuales no presentaron diferencias significativas, el alto contenido de COS en la capa superficial está relacionada con el alto porcentaje de carbono orgánico registrado y consecuentemente de la materia orgánica (Tabla 14), la vegetación del bofedal capta el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis, y la vegetación al entrar a la etapa de senescencia se incorpora a la capa superficial del suelo (acrotelmo) siendo convertido en carbono orgánico, del total solo el 20% pasa a la capa inferior (catotelmo) (Alvis, 2018), las condiciones climáticas en el área de estudio influyen en el almacenamiento de COS, la precipitación media (71,09 mm) constante en la zona hace que la napa freática se encuentre cerca de la superficie del suelo provocando una condición anaeróbica en el suelo generando una descomposición parcial del material vegetal, la baja temperatura media (12,73°C) ocasiona que la descomposición de la materia orgánica sea lenta en el

catotelmo, generando un periodo largo de descomposición en comparación de suelos de tierra firmes, dichas condiciones influyen en su alto potencial de almacenamiento de carbono orgánico, los tres bofedales en estudio siguen una misma tendencia, donde a menor profundidad del suelo existe un mayor almacenamiento del COS, afirmación que es sustentada por Alvis (2018) y Portal (2019) quienes mencionan que al incrementarse la profundidad del suelo, la abundancia del carbono orgánico del suelo empieza a disminuir.

En el trabajo de investigación de Alvis (2018), registró 218,28 tC/ha de COS en el bofedal Challhuanca - Arequipa; por otro lado León (2016) determinó la cantidad del COS almacenado en tres bofedales, registrando para los bofedales N° 03 (100 tC/ha) y N° 04 (157 tC/ha) de Huancavelica; bofedales N° 05 (77 tC/ha) y N°06 (47 tC/ha) de Arequipa; y para los bofedales N°07 (201 tC/ha), N°08 (75 tC/ha) y N°09 (33 tC/ha) de Puno; no obstante las diferencias que existen en la cantidad de almacenamiento del COS en los diferentes trabajos mencionados dependen de una serie de factores como la topografía, régimen hidrológico, temperatura, el pH, la salinidad y el tipo de vegetación dominante, estas condicionan la productividad y la composición química de la materia orgánica (Alvis, 2018) de igual forma el secuestro de carbono en los bofedales está relacionado a la extensión y edad del bofedal, el alto valor del COS almacenado en el bofedal Pantumpampa está relacionada a la edad de este, los bofedales en estudio fueron clasificados como bofedales con suelos maduros (más evolucionados) y bofedales con suelos jóvenes (menos evolucionados) (Ramírez, 1997), se consideró ciertas características *in situ* en el área de estudio, como el estado de degradación, presencia de sales en ciertas zonas, la extensión y la dominancia de especies de flora como el *Aciachne pulvinata*, el bofedal Pantumpampa fue clasificado como un bofedal maduro (proceso de degradación) con un área de 43,2 ha; guardando relación con su capacidad de almacenamiento del COS (959,15 tC/ha) a diferencia de los bofedales Chaqirayoq (343,18 tC/ha) y Churia (330,16 tC/ha) con una extensión de 20,9 ha y 27 ha respectivamente, siendo relativamente similares, encontrándose en un proceso de clímax.

De acuerdo al resultado del análisis estadístico de la prueba de normalidad de kolmogorov –Smirnov (Anexo 4) de los parámetros fisicoquímicos del suelo de los bofedales Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, se realizó la prueba de hipótesis de kruskall wallis (datos no paramétricos) (Anexo 8a) con un nivel de

significancia de ,05; para los parámetros del COS ($p = ,000$; $p < ,05$); materia orgánica ($p = ,000$; $p < ,05$); pH ($p = ,000$; $p < ,05$); conductividad eléctrica ($p = ,000$; $p < ,05$) y densidad aparente ($p = ,000$; $p < ,05$); rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alterna para los diferentes parámetros mencionados, deduciendo que los valores del COS, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y densidad aparente es diferente al menos en uno de los tres bofedales evaluados, sin embargo, se realizó la prueba estadística de ANOVA (datos paramétricos) para la humedad volumétrica (Anexo 9), respaldada por la prueba de Tukey (Anexo 10), donde se acepta la hipótesis alterna, afirmando que la humedad volumétrica es distinta al menos en uno de los bofedales evaluados.

Se observa los valores medios (medianas) del COS (Figura 7) y la materia orgánica (Figura 9) en los tres bofedales altoandinos evaluados, se obtuvo valores altos del COS y porcentaje de materia orgánica, en el bofedal Pantumpampa (251,68 tC/ha y 50,04%), sin embargo, se registró valores menores en el bofedal Churia (41,63 tC/ha y 3,44%) y Chaquirayoq (62,20 tC/ha y 7,87%) respectivamente, en el análisis de las comparaciones múltiples realizadas entre pareja de bofedal para el COS y la materia orgánica (Figura 8 y 10), los bofedales Chaquirayoc y Churia estadísticamente son similares, respecto al COS ($p = 1,000$; $p > ,05$) (62,20 tC/ha y 41,63 tC/ha) y materia orgánica ($p = ,858$; $p > ,05$) (3,44% y 7,87%) respectivamente, a diferencia de los bofedales Pantumpampa y Churia ($p = ,000$; $p < ,05$); y Pantumpampa y Chaquirayoq ($p = ,000$; $p < ,05$) los cuales son diferentes para ambos parámetros, debido al alto valor de COS y materia orgánica en el bofedal Pantumpampa (251,58 tC/ha y 50,04 %), difiriendo de los otros dos bofedales; de acuerdo a la tabla de clasificación de la materia orgánica (Tabla 4), los bofedales de Pantumpampa y Chaquirayoq presentan una clasificación "alta" (A) (%MO > 4,0); sin embargo, el bofedal Churia presenta una clasificación "media" (M) de materia orgánica en el suelo; en el trabajo de investigación de Mamani y Mamani (2019), registraron un valor promedio de materia orgánica (5,25%) en el sumidero del bofedal Putina - Puno, León (2016) registró un valor promedio de materia orgánica para los bofedales N°03 (92,33%) y N°04 (9,77%) en Huancavelica; los bofedales N° 05 (15,33%) y N° 06 (8,13%) en Arequipa y los bofedales N°07 (37,72%) y N°08 (93,39%) en Puno, ambos trabajos de investigación registraron una clasificación "alta" (A) de materia orgánica en los bofedales estudiados, el

alto contenido de la materia orgánica mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo y a la vez, es una fuente de elementos nutritivos para las plantas, los altos valores registrados de materia orgánica en el bofedal Pantiumpampa (50,04%), se ven reflejados, en el alto contenido de COS (251,68 tC/ha), de igual forma este último está relacionado a la alta capacidad de captación y almacenamiento del COS que posee el bofedal.

Las medianas del pH en los tres bofedales evaluados (Figura 11), muestran valores para los bofedales Churia (4,84); Chaqirayoq (4,54) y Pantiumpampa (3,76); según la tabla de clasificación del pH (USDA) (Tabla 5), son suelos muy fuertemente ácidos para los bofedales Churia y Chaqirayoq; y extremadamente ácido para el suelo del bofedal Pantiumpampa, en las comparaciones múltiples realizadas entre pareja de bofedal (Figura 12), se observa que no existe ninguna similitud entre los bofedales Pantiumpampa y Chaqirayoq ($p = ,000$; $p < ,05$); Pantiumpampa y Churia ($p = ,000$; $p < ,05$) y Chaqirayoq y Churia ($p = ,038$; $p < ,05$), afirmando que los valores de pH en los suelos son diferentes en cada bofedal evaluado, Huiza y Quispe (2017) registraron valores promedios de pH similares en el bofedal Saccsalla (pH = 4,13), sin embargo, registraron (pH = 6,06) para el bofedal Ranramocco, siendo suelos ligeramente ácido; los suelos con pH bajo se registran en suelos muy evolucionados (maduro), y en suelos con pH alto, en suelos poco evolucionados (jóvenes), las variaciones en los valores del pH están influenciadas por los factores climáticos de la temperatura y precipitación, teniendo suelos ácidos en regiones con mayor precipitación (lixiviados) y alcalinos en regiones secas (Departamento de Agricultura, 1999), de igual forma se ven influenciada por la edad del bofedal, presencia de materia orgánica y altitud del lugar (Porta et al., 2003); el valor bajo del pH en el bofedal Pantiumpampa, está influenciado por el alto contenido de materia orgánica (50,04%) en el suelo, el cual genera que se libere iones de H^+ a la solución del suelo haciendo que el pH baje y tiendan a la acidez (León, 2016), los efectos perjudiciales de la acidez se originan por los valores inferiores (pH < 5,5), el cual genera la baja disponibilidad de los nutrientes para la planta (Porta et al., 2003) haciendo que los elementos de calcio y magnesio no estén disponibles para la raíz de la planta, aumentando la disponibilidad de elementos tóxicos como el aluminio (León, 2016) el cual impide la absorción de nutrientes y agua, afectando a la planta en su desarrollo.

Resaltar que en los bofedales existe una correlación inversa entre la altitud y el pH del suelo, mientras se incrementa la altitud, decrece el pH del suelo (Alzérreca et al., 2001), los orígenes de la acidez del suelo en las turberas se dan por las lluvias intensas en la zona y los suelos orgánicos son ácidos de por sí (Ramírez, 1997).

En la Figura 13, se observa las medianas de la conductividad eléctrica del suelo en los tres bofedales evaluados, se registró un valor alto en el bofedal Pantumpampa ($987,5 \mu S/cm$), seguido de Churia ($124,85 \mu S/cm$) y Chaqirayoc ($98,9 \mu S/cm$), en el análisis de las comparaciones múltiples realizadas entre pareja de bofedal (Figura 14), los bofedales Chaqirayoc y Churia son estadísticamente similares ($p = ,482$; $p > ,05$) ($124,85 \mu S/cm$ y $98,9 \mu S/cm$) a diferencia de las comparaciones entre el bofedal Pantumpampa y Chaqirayoc ($p = ,000$; $p < ,05$) y Pantumpampa y Churia ($p = ,000$; $p < ,05$) son distintos al presentar un alto valor de C.E ($987,5 \mu S/cm$) en el bofedal Pantumpampa, según la clasificación de salinidad de suelos en función a la conductividad eléctrica del suelo (USDA) (Tabla 6) y la clasificación de la salinidad en suspensión de suelo y agua (Tabla 7) son suelos no salinos para los tres bofedales evaluados ($C.E < 2000 \mu S/cm$), en el trabajo de investigación de Mamani y Mamani (2019), registraron valores promedios de la conductividad eléctrica de $163 \mu S/cm$ en suelos del bofedal; siendo suelos no salinos, dicho resultado es similar a los registrados en el área de estudio de los bofedales Churia y Chaqirayoc; en Cárdenas, cuyo trabajo de investigación realizó en el 2019, determinó la conductividad eléctrica del agua de los bofedales de Abra Apacheta y Rumiruyuccpampa, los cuales estuvieron ubicados dentro del área de estudio del presente trabajo de investigación (bofedal Pantumpampa); Cárdenas registró un valor promedio de la conductividad eléctrica ($1316,1 \mu S/cm$) y un pH (3,5), al tener aguas ácidas, consecuentemente se tienen suelos ácidos ($pH > 5$), el ion H^+ es el principal responsable de los altos valores de la conductividad eléctrica en los suelos (Cárdenas, 2019).

Cabe mencionar que en bofedales altoandinos (> 4100 msnm), tienden a tener bajos contenidos de sales a diferencia de aquellas ubicadas en pisos altitudinales más bajos, donde el contenido de sales en el suelo se incrementa (Alzérreca et al., 2001), el bajo contenido de sales está influenciada por la constante precipitación en la zona.

En el gráfico de la Figura 15, muestran los valores de las medianas de la densidad aparente del suelo en los tres bofedales evaluados, se obtuvo valores mayores en los bofedales Churia ($0,99 \text{ g/cm}^3$) y Chaqirayoq ($0,91 \text{ g/cm}^3$), sin embargo, se obtuvo un valor menor en el bofedal Pantumpampa ($0,58 \text{ g/cm}^3$), en la Figura 16, en el análisis de las comparaciones múltiples entre pareja de bofedal, los bofedales Chaqirayoq y Churia estadísticamente son similares ($p = ,091$; $p > ,05$) ($0,99 \text{ g/cm}^3$ y $0,91 \text{ g/cm}^3$) a diferencia de los bofedales Pantumpampa y Chaqirayoq ($p = ,006$; $p < ,05$) y Pantumpampa y Churia ($p = ,000$; $p < ,05$), estadísticamente son distintos, al presentar un alto valor, el bofedal Pantumpampa ($0,58 \text{ g/cm}^3$), según la tabla de clasificación (Tabla 3), los bofedales evaluados presentan una clasificación "muy bajo" ($da < 1,0 \text{ g/cm}^3$), los resultados obtenidos en el presente trabajo son similares a los registrados por Mamani y Mamani (2019), donde obtuvieron valores promedios de densidad aparente ($0,99 \text{ g/cm}^3$) con una clasificación "muy baja" en suelos del bofedal Putina - Puno, en Fernández (2019), registró un promedio de densidad aparente ($1,054 \text{ g/cm}^3$) con una clasificación "baja" ($da 1,0 - 1,2 \text{ g/cm}^3$), la baja densidad registrado en el presente trabajo y en los otros trabajos de investigación están directamente relacionadas al tipo de suelo presente en el área de estudio, los bofedales por lo general presentan cierto grado de porcentaje de materia orgánica en el suelo, los suelos orgánicos poseen densidades aparentes muy bajas ($da < 1,0 \text{ g/cm}^3$) y los suelos turbosos tienen $0,2$ a $0,5 \text{ g/cm}^3$ (Calvache, 2010).

Los bofedales por lo general presentan cierto grado de materia orgánica en el suelo, este influye en la baja densidad aparente, donde a mayor porcentaje de materia orgánica, menor será la densidad aparente del suelo, bofedal Pantumpampa ($da = 0,58 \text{ g/cm}^3$ y $MO = 50,04\%$), a medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso, disminuye la densidad aparente del suelo (Salamanca & Sadeghian, 2005).

En el análisis de varianza para el parámetro de la humedad volumétrica (Anexo 9) posee un valor ($p = ,001$; $F = 7,69$) con un nivel de significancia de $,05$; rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alterna, afirmando que la humedad volumétrica en los tres bofedales son diferentes, en la Figura 17 se observa el gráfico de los valores promedio (medias) para los diferentes bofedales evaluados, se obtuvo un valor alto en el bofedal Pantumpampa ($40,26\%$) y valores menores en los bofedales Churia ($32,36\%$) y Chaqirayoq ($31,42\%$), en el

análisis de la prueba de Tukey (Anexo10), muestra la formación de dos grupos, el primero formado por los bofedales Churia y Chaqirayoc indicándonos que son estadísticamente similares, y el segundo grupo formado por el bofedal Pantumpampa (40,26%).

El alto valor de la humedad volumétrica en el bofedal Pantumpampa, está relacionada con el alto porcentaje de la materia orgánica, este último influye en la porosidad del suelo, al afectar la estructura del suelo (agregados con mayor diámetro), aumentando la capacidad de retención hídrica (acumulación) en el suelo para luego liberarse lentamente (Palabral, 2013), al estar saturados de agua los poros condicionan al suelo a un medio anaeróbico favoreciendo el almacén de carbono (León, 2016).

En el Anexo 12, muestran las frecuencia y porcentajes de la textura, evaluados en los tres bofedales en las diferentes profundidades del suelo, de las 12 clases texturales, se registraron siete clases texturales en el presente trabajo, los suelos que presentaron valores ($\geq 10\%$) de materia orgánica fueron clasificadas como suelos orgánicos, en la tabla se observa valores mayores de porcentaje de suelo orgánico (42,3%); seguidos de franco arenoso (36,9%); franco (7,7%); franco arcilloso arenoso (5,4 %); arena franco (4,2%); arena (1,8%); franco arcilloso (1,2%) y franco limoso (0,6%) del total de muestras de suelo.

En la Figura 18, se observa las clases texturales de los tres bofedales, se registró un alto porcentaje de suelo orgánico (72%) en el bofedal Pantumpampa, sin embargo, Chaqirayoc y Churia registraron alto porcentaje de franco arenoso (50% y 44%), clasificándolos con clase textural suelo orgánico (Pantumpampa) y franco arenoso (Churia y Chaqirayoc); en el trabajo de Huiza y Quispe (2017) registraron valores similares con una clase textural franco arenoso en los bofedales de Huancavelica.

En los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos evaluados a diferentes profundidades de suelos en los tres bofedales altoandinos, de acuerdo al análisis de la prueba de normalidad de kolmogorov-Smirnov (Anexo 5), se realizó la prueba de hipótesis de kruskall-wallis (Anexo 8b) para los parámetros sin una distribución normal (datos no paramétricos), con un nivel de significancia de ,05; para el COS ($p = ,028$; $p < ,05$) y materia orgánica ($p = ,034$; $p < ,05$), se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna, deduciendo que los valores del COS y el porcentaje de materia orgánica es diferente al menos en una de las profundidades del suelo, sin embargo, se

acepta la hipótesis nula y rechaza la hipótesis alterna para el pH ($p = ,882$; $p >,05$); conductividad eléctrica ($p = ,341$; $p >,05$); densidad aparente ($p = ,109$; $p >,05$) y humedad volumétrica ($p = ,113$; $p >,05$), infiriendo que no existe ninguna diferencia significativa en las tres profundidades del suelo.

Los resultados observados en la Figura 19 muestran los valores de las medianas del COS, registrándose un valor alto de 155,76 tC/ha a 20 cm, el cual fue disminuyendo al aumentar la profundidad del suelo, teniendo 83,99 tC/ha a 40 cm y 56,55 tC/ha a 60 cm de profundidad del suelo, en las comparaciones múltiples entre parejas de profundidad (Figura 20), se observa, el COS a profundidades de 20 cm - 40 cm ($p = ,186$, $p >,05$) (155,76 tC/ha – 83,99 tC/ha) y 40 cm - 60 cm ($p = 1,000$; $p >,05$) (83,99 tC/ha - 56,55 tC/ha) estadísticamente son similares, respecto a la profundidad del suelo de 20 - 60 cm ($p = ,029$; $p <,05$) (155,76 tC/ha - 56,55 tC/ha) los cuales difieren; los suelos orgánicos se forman independientemente del clima y la litología, siempre y cuando se den las condiciones topográficas que favorezcan la acumulación de materiales orgánicos en condiciones hidromórficas, saturado de agua y deficiente oxígeno en forma casi permanente (Jaramillo D. F., 2002), el mayor contenido de COS se registran en la capa superficial del suelo (0 – 2,5 cm) en bofedales permanentes a diferencia de los bofedales estacionales (Maldonado, 2014)

Los resultados de los valores de las medianas del porcentaje de la materia orgánica en las tres profundidades del suelo de los tres bofedales evaluados se muestran en la Figura 21, teniendo el mismo comportamiento que el COS, registrándose valores promedios altos de 17,26% a 20 cm, disminuyendo a mayor profundidad del suelo, teniendo 9,69% a 40 cm y 5,34% a 60 cm, siendo suelos con contenido "alto" (A) de materia orgánica ($MO > 4\%$) en las tres profundidades; de acuerdo a las comparaciones múltiples entre parejas de profundidad (Figura 22) se observa que a profundidades de 20 cm - 40 cm ($p = ,311$; $p >,05$) (17,26% - 9,69%) y 40 cm - 60 cm ($p = 1,000$; $p >,05$) (9,69% - 5,34%) estadísticamente son similares, a diferencia de la profundidad de 20 cm - 60 cm ($p = ,030$; $p <,05$) (17,26% - 5,34%) los cuales difieren, el alto contenido de la materia orgánica en el horizonte superficial (capas superficiales) del suelo, refleja la capacidad de acumulación de carbono en el bofedal (Ministerio del Ambiente, 2019), la cual fue decreciendo al aumentar la profundidad del suelo en el presente trabajo, se registró un comportamiento similar en Mamani y Mamani

(2019), registraron valores altos (A) de materia orgánica (7,8% a 10 cm y 6,61% a 30 cm) y bajo (B) (1,33% a 60 cm) para el bofedal de Puno, en Palabral, (2013), registró valores promedios altos (A) de 98,75% a 20 cm; 96,25% a 40 cm y 91,25% a 60 cm de profundidad del suelo; sin embargo, se observó un comportamiento distinto de la materia orgánica en León (2016), donde registró un valor alto (A) de contenido de materia orgánica en el bofedal N°03 (93% - 15 cm, 91% - 30 cm y 93% - 35 cm); y N° 04 , alta (A) (16% - 5 cm), baja (B) (1,6% - 50 cm) y alta (A) (18% a 80 cm) en Huancavelica, de igual forma se obtuvo valores altos (A) para los bofedales N°5 (35% - 24 cm; 33% - 44 cm y 30% - 80 cm) y N°6 (35% - 27 cm, 26% - 56 cm y 33% - 70 cm) de Arequipa; para el bofedal N°07 se registró valores altos (A) (5,90% - 20 cm), bajo (B) (0,99% - 42 cm) y alto (A) (63,18% - 54 cm); bofedal N°08, valores altos (A) (96,06% - 20 cm y 90,73% - 40 cm) y bofedal N°09 con valores bajos (B) (2% - 20 cm; 0,64% - 35 cm y 0,41% - 60 cm) en Puno, existe mayor materia orgánica en profundidades menores, el cual disminuye y aumenta el porcentaje de sedimento (limo, arena o arcilla) al aumentar la profundidad del suelo (Palabral, 2013).

Cabe resaltar que la profundidad de la turba en el suelo se ve influenciada por la edad del bofedal, a profundidades mayores de turba, mayor es la capacidad de almacenamiento de agua y carbono en el bofedal (Ministerio del Ambiente, 2019), la variación de la materia orgánica en las diferentes profundidades del suelo en León, donde existe un alto contenido de materia orgánica, no sólo en la capa superficial sino también en el tercer horizonte e inclusive horizontes inferiores (intercalado), es causada por las altas precipitaciones especialmente en las épocas lluviosas, generando procesos de erosión hídrica, siendo una condición característica en bofedales, alternando el sustrato (suelo) con capas de arena, arcilla y materia orgánica (León, 2016) (Palabral, 2013), la profundidad del suelo influye en la cantidad de materia orgánica en el suelo, al igual que las condiciones climáticas del lugar, Huiza y Quispe afirman que la altitud presenta una correlación inversa con la temperatura, donde a altitudes mayores, las temperaturas son bajas, retardando así el proceso de descomposición de la materia orgánica (Huiza & Quispe, 2017).

Los resultados de las medianas del pH obtenido del análisis estadístico diferentes profundidades del suelo (Figura 23), se registró valores promedios de 4,56 a 20 cm; 4,67 a 40 cm y 4,51 a 60 cm de profundidad, con un comportamiento indiferentes a la profundidad del suelo, son suelos muy

fuertemente ácidos en las tres profundidades del suelos, Mamani y Mamani (2019) registraron valores similares de 4,98 a 10 cm; 4,82 a 30 cm y 4,71 a 60 cm de profundidad del suelo del bofedal Puno-Putina, en el trabajo de León (2016), registró valores de pH (fuertemente ácidos), para el bofedal N°07 (5,16 – 20 cm; 5,11 – 42 cm y 5,22 – 60 cm); y bofedal N°09 (5,14 – 20 cm; 5,15 – 35 cm y 5,22 – 60 cm) para Puno; sin embargo, se encontraron valores de pH altos en el bofedal N°4 de Huancavelica (6,3 – 7,73); siendo suelos neutro y ligeramente alcalino, en los bofedales de Arequipa N°05 se registró valores altos de pH (9,1) en suelos superficiales, los cuales fueron disminuyendo al aumentar la profundidad del suelo (6,8) siendo suelos fuertemente alcalinos y neutro; el N°06 se registró valores (5,9 – 6,2), suelos moderadamente ácido y ligeramente ácido.

El pH es una de las propiedades más importantes en los suelos, de este depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Ramírez, 1997) de igual modo influye en el CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico).

Al presentar una clasificación alta (A) de la materia orgánica y por consiguiente altos contenidos COS a 20 cm de profundidad del suelo, haciendo que el suelo tienda a la acidez (pH = 4,56); generando problemas en la asimilación de nutrientes por la raíz al estar menos disponibles (no solubles) para la planta (León, 2016), provocando una baja fertilidad del suelo, ocasionando que la planta no alcance su máximo rendimiento, de igual forma influye en la actividad de los microorganismos (Ramírez, 1997) el bajo pH y conductividad eléctrica se deben a la precipitación constante en la zona de estudio, generando lixiviación del suelo.

En la Figura 24, las medianas de la conductividad eléctrica evaluadas a diferentes profundidades, registrándose un alto valor de 269 $\mu S/cm$ a 20 cm y valores menores de 132,35 $\mu S/cm$ a 40 cm y 136,4 $\mu S/cm$ a 60 cm de profundidad del suelo, según las clasificaciones (Tabla 6 y 7) son suelos no salinos para las tres profundidades del suelo, en Mamani y Mamani (2019), registraron valores similares de conductividad eléctrica de 0,2 dS/m (200 $\mu S/cm$) a 10 cm; 0,23 dS/m (230 $\mu S/cm$) a 30 cm y 0,06 dS/m (60 $\mu S/cm$) a 60 cm de profundidad, siendo suelos no salinos para el bofedal Puno, en el trabajo de Huiza y Quispe (2017) registraron valores de conductividad eléctrica del suelo (0,05 dS/m – 0,40 dS/m) a 20 cm de profundidad, el bajo contenido de sal en el suelo favorece el desarrollo normal de las plantas en el bofedal, evitando los

efectos negativos sobre el suelo como la disminución de la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes; la baja conductividad eléctrica depende de las características propias del suelo del área estudiada, esta se ve influenciada por la altitud, donde existe una mayor precipitación que provoca la lixiviación y disminución de sales (Huiza & Quispe, 2017).

En el gráfico de la Figura 25, se observa las medianas de la densidad aparente a diferentes profundidades del suelo, se registró valores promedios bajos de densidad aparente en la capa superficial de $0,76 \text{ g/cm}^3$ a 20 cm, cuyos valores fueron aumentando a mayor profundidad, teniendo $0,82 \text{ g/cm}^3$ a 40 cm; y $0,95 \text{ g/cm}^3$ a 60 cm, con una clasificación baja en las tres profundidades es "muy baja", se observó el mismo comportamiento en el trabajo de investigación de Mamani y Mamani (2019), registraron valores de $0,15 \text{ g/cm}^3$ a 10 cm; $1,21 \text{ g/cm}^3$ a 30 cm y $1,62 \text{ g/cm}^3$ a 60 cm de profundidad para los suelos del bofedal de Puno, con una clasificación "muy bajo", "medio" y "muy alta" respectivamente, en Fernández (2019) determinó el valor promedio de la densidad aparente ($1,054 \text{ g/cm}^3$) con una clasificación "baja", variando entre $0,897 \text{ g/cm}^3$ y $1,264 \text{ g/cm}^3$, en los suelos de turberas de Cajamarca; León (2016) registró valores de densidades aparentes a diferentes profundidades, en el bofedal N° 5 con una clasificación "muy baja" ($0,25 \text{ g/cm}^3$ a 24 cm y $0,84 \text{ g/cm}^3$ a 36 cm), "bajo" ($1,09 \text{ g/cm}^3$ a 44 cm y $1,15 \text{ g/cm}^3$ a 80 cm) y en el bofedal N° 6 con una clasificación "muy baja" ($0,17 \text{ g/cm}^3$ a 4 cm y $0,73 \text{ g/cm}^3$ a 11cm), "baja" ($1,11 \text{ g/cm}^3$ a 27 cm y $1,02 \text{ g/cm}^3$ a 56 cm) y "media" ($1,26 \text{ g/cm}^3$ a 45 cm) en Arequipa; en Huancavelica (bofedal N° 4) se registró una clasificación "muy bajos" ($0,39 \text{ g/cm}^3$ a 5 cm; $0,25 \text{ g/cm}^3$ a 80 cm) y "bajo" ($1,01 \text{ g/cm}^3$ a 50 cm); y Puno (bofedal N°7) tuvieron una clasificación "muy baja" ($0,34 \text{ g/cm}^3$ a 20 cm; $0,93 \text{ g/cm}^3$ a 42 cm y $0,07 \text{ g/cm}^3$ a 54 cm); en suelos típicos, las densidades fluctúan ($1,0 \text{ g/cm}^3$ - $1,7 \text{ g/cm}^3$) (Departamento de Agricultura, 1999), en suelos orgánicos las densidades son menores a $1,0 \text{ g/cm}^3$ (Calvache, 2010), la densidad aparente está relacionada a la profundidad del suelo, el cual aumenta con la profundidad del suelo (Departamento de Agricultura, 1999) (Portal, 2019), y tiene una alta relación con los contenidos de materia orgánica y humedad del suelo (Salamanca & Sadeghian, 2005); la densidad aparente sirve como indicador de compactación, cuanto mayor es la densidad aparente menor será el espacio poroso en el suelo, restringiendo el movimiento del agua, el crecimiento y penetración de las raíces, afectando el desarrollo de la planta (Departamento de

Agricultura, 1999), el sobrepastoreo presente en los bofedales puede ocasionar erosión y disminuir la capacidad de retención del agua y nutrientes en el suelo (Palabral, 2013), en caso de registrarse valores altos de densidad aparente en las capas superficiales del suelo ($d_a > 1,6 \text{ g/cm}^3$) indica la existencia de compactación del suelo por la presencia de ganados (sobrepastoreo) o por las malas prácticas realizadas por el hombre en el bofedal (Ramírez, 1997; Ministerio del Ambiente, 2019).

En la Figura 26, muestran los valores de las medianas de la humedad volumétrica en los bofedales evaluados a diferentes profundidades, se registraron promedios de 31,80% a 20 cm; 30,10% a 40 cm y 35,64% a 60 cm, en el trabajo de León (2016), en Huancavelica (bofedal N° 4) registró valores de 63% a 5 cm, 45% a 50 cm y 72% a 80 cm; en Arequipa los bofedales N° 05 (65% a 24cm, 33% a 44cm y 30% a 80 cm) y N°06 (35% a 27 cm, 26% a 56 cm y 33% a 70 cm); y Puno los bofedales N° 07 (45% a 20 cm, 46% a 42 cm y 58% a 54 cm) y N°09 (44% a 20 cm, 45% a 35 cm y 48% a 60 cm), en Palabral (2013), determinó la densidad aparente y la humedad volumétrica a una profundidad de 1,4 metros de profundidad del suelo en el bofedal Aynacha Pacoco, teniendo valores promedios de $0,378 \text{ g/cm}^3$ y 82,12 %.

La capacidad de retención del agua depende del porcentaje de porosidad presente en el suelo, los suelos orgánicos presentan un alto porcentaje de porosidad debido al alto contenido de materia orgánica, esta condición mejora la agregación del suelo y la estabilidad estructural junto con la porosidad para la aireación del suelo y la infiltración de agua en el suelo (Ramírez, 1997), en el presente trabajo se registró un alto valor a 20 cm y 60 cm de profundidad del suelo, el alto valor en la parte superficial es debido la precipitación constante en la zona y el tipo de suelo (suelos orgánicos), los poros presentes en el suelo absorben una mayor cantidad de agua en el suelo, sin embargo, se registró un alto contenido de humedad volumétrica a 60 cm de profundidad del suelo, donde existe una disminución de la materia orgánica y consecuentemente una disminución de la porosidad del suelo, sin embargo estos están cerca a la napa freática del bofedal, el valor alto registrado de la humedad volumétrica, nos indican que existe un mayor porcentaje de materia orgánica y consecuentemente una mayor porosidad del suelo en la capa superficial del suelo.

La baja densidad del suelo en capas superficiales indica la capacidad de almacén del agua en la turba, donde a valores más bajos de densidad aparente,

mayor será la capacidad de almacén del agua (humedad volumétrica) (Ministerio del Ambiente, 2019), el cual va aumentando al aumentar la profundidad del suelo.

Resaltar que, a medida que aumenta la densidad aparente disminuye la porosidad del suelo, afectando la disponibilidad de agua y oxígeno en el suelo dificultando la penetración de las raíces de las plantas (Ramírez, 1997).

Respecto a los resultados obtenidos del análisis de normalidad de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la temporadas seca y húmeda (Anexo 6), según la prueba de hipótesis de la prueba de U de Mann – Whitney (Anexo 8c) con un nivel de significancia de .05, en todos los parámetros fisicoquímicos evaluados se rechazan las hipótesis nulas y aceptan las hipótesis alternas de la materia orgánica ($p = ,007$; $p <,05$); COS ($p = ,008$; $p <,05$); pH ($p = ,000$; $p <,05$); conductividad eléctrica ($p = ,000$; $p <,05$); densidad aparente ($p = ,047$; $p <,05$); afirmando que los valores registrados de los diferentes parámetros fisicoquímicos del suelo evaluados en las dos temporadas son diferentes, sin embargo, se realizó la prueba ANVA para la humedad volumétrica ($p = ,606$; $p >,05$) (Anexo 11), siendo igual en ambas temporadas.

En la Figura 27, se observa las diferentes clases texturales encontradas en los suelos a diferentes profundidades, registrándose altos porcentajes de suelos orgánicos (56%) a 20 cm, disminuyendo al aumentar la profundidad del suelo (41% a 40 cm y 30% a 60 cm), sin embargo, se observó un comportamiento inverso en el suelo franco arenoso, con valores menores a 20 cm (30%) aumentando a 40cm (34 %) y 60cm (46%); de acuerdo a los resultados, se concluye que presentan una clase textural de suelo orgánico a 20 y 40cm y franco arenoso (Fr. A) a 60cm, en el trabajo de León (2016) registro texturas de franco arcillo arenoso (0-5 cm); franco arenoso (5-50 cm) y franco arcillo arenoso (50-80 cm) en el bofedal de Huancavelica (Bofedal N°04); en Arequipa, el bofedal N°05, registró suelo orgánico (0-14 cm); franco arenoso (14-34 cm) y franco arenoso (36-44 cm) y el bofedal N° 06, registro suelo orgánico (0-4 cm); franco arenoso (4-11 cm); franco arenoso (27-45 cm) y franco (45-56 cm); y en Puno, en el bofedal N°07, registró suelo franco arenoso (0-20 cm); franco limoso (20-42 cm) y turba (42-54 cm) y bofedal N°09, quien presentó suelos franco arenoso en tres profundidades (0-20 cm, 20-35 cm y 35-60 cm).

Los resultados de correlación de Rho de Spearman para el COS y la profundidad del suelo son presentados en la Tabla 15, el cual posee un nivel de significancia

($p = ,009$; $p < ,05$); afirmando que existe una correlación inversa, estadísticamente significativa, con un nivel de correlación mínima entre la profundidad y el COS en los bofedales evaluados ($Rho = -,200$; $p < ,05$); deduciendo que la profundidad del suelo influye en el contenido del COS en los bofedales evaluados (Figura 28), afirmando que a menor profundidad del suelo hay un mayor contenido de COS, el cual disminuye al aumentar la profundidad, reafirmando dicha afirmación sustentado por los diversos autores anteriormente mencionados; los tres bofedales evaluados presentan una misma tendencia (Figura 29), donde el COS es mayor a menor profundidad el cual va disminuyendo al aumentar la profundidad del suelo, registrándose valores altos en el bofedal Pantiumpampa, seguido de Chaqirayoc y Churia.

La prueba de correlación de rho de Spearman del COS y la profundidad del suelo frente a los parámetros fisicoquímicos (Tabla 16).

En el análisis de correlación, el COS en relación al porcentaje de la materia orgánica posee un nivel de significancia ($p = ,000$; $p < ,05$); el carbono orgánico del suelo presenta una correlación directa muy buena, estadísticamente significativa con la materia orgánica en los suelos de los tres bofedales evaluados ($rho = ,985$; $p < ,05$)(Tabla 16), es decir, que a mayor COS, mayor es el porcentaje de la materia orgánica y a menor COS, menor será el porcentaje de la materia orgánica en los suelos de los bofedales evaluados (Figura 30a); en la figura se observa una tendencia directamente proporcional entre el COS y el porcentaje de la materia orgánica.

El COS respecto al parámetro del pH, posee un nivel de significancia ($p = ,000$; $p < ,05$); el COS presenta una correlación inversa mínima, estadísticamente significativa con el pH en los suelos de los bofedales evaluados ($rho = -,302$; $p < ,05$) (Tabla 16), donde el COS influye en el pH del suelo, teniendo, a mayor COS, menor será el pH y a menor COS, mayor será el pH en el suelo (Figura 30b); en la figura se observa una tendencia inversa, el pH aumenta a medida que el COS disminuye.

En el análisis del COS frente a la conductividad eléctrica, presenta un nivel de significancia ($p = ,000$; $p < ,05$); el COS presenta un nivel de correlación directa buena, estadísticamente significativa con la conductividad eléctrica en los bofedales evaluados ($rho = ,703$; $p < ,05$) (Tabla 16), deduciendo que el COS influye en la conductividad eléctrica del suelo, a mayor COS, mayor será la conductividad eléctrica en el suelo, dicha relación se observa en la Figura (30c),

observándose una tendencia inversa, donde la conductividad eléctrica aumenta al disminuir el COS.

Respecto a la correlación del COS frente a la densidad aparente, posee un nivel de significancia ($p = ,000$; $p < ,05$); presenta una correlación inversa muy buena, estadísticamente significativa con la densidad aparente ($\rho = -,802$; $p < ,05$) (Tabla 16), el COS tiene una influencia sobre la densidad aparente en el suelo, donde a mayor COS, menor es la densidad aparente del suelo y a menor COS en el suelo, mayor será la densidad aparente en el suelo (Figura 30d).

El COS en relación a la humedad volumétrica ($p = ,000$; $p < ,05$); el COS presenta una correlación directa mínima, estadísticamente significativa con la humedad volumétrica en los bofedales evaluados ($\rho = ,319$; $p < ,05$) (Tabla 16), a mayor COS, mayor es el porcentaje de la humedad volumétrica en el suelo (Figura 30e).

En los análisis de correlación de la profundidad del suelo frente a los parámetros físicos químicos, la profundidad presenta correlaciones estadísticamente significativas frente a la materia orgánica y densidad aparente.

La profundidad del suelo en relación a la materia orgánica, posee un nivel de significancia ($p = ,010$; $p < ,05$); la profundidad del suelo presenta una correlación inversa mínima con la profundidad del suelo ($\rho = -,199$; $p < ,05$) (Tabla 16), en la Figura 30a, se observa una tendencia inversa, donde se intuye que, a menor profundidad del suelo, mayor es el porcentaje de materia orgánica (Figura 30a).

En el análisis de correlación entre la profundidad del suelo y la densidad aparente posee un nivel de significancia de ($p = ,038$; $p < ,05$), la profundidad del suelo presenta una correlación directa mínima con la densidad aparente ($\rho = ,160$; $p < ,05$) (Tabla 16), donde a mayor profundidad del suelo, mayor es la densidad aparente en el suelo (Figura 30d), los valores bajos de la densidad aparente en profundidades menores es debido a la alta cantidad de carbono orgánico (León, 2016), dicha afirmación tiene relación con el alto contenido de la materia orgánica (capas superficiales) (Baldoceca, 2020); en el trabajo de investigación de Baldoceca, concluyó que existe una alta relación entre las variables de la humedad del suelo y la materia orgánica, indicando que al aumentar el porcentaje de la materia orgánica, aumentará la capacidad del suelo de retener más agua (Baldoceca, 2020), guardando una estrecha relación entre la materia orgánica y la humedad volumétrica, el alto contenido de materia

orgánica, permite la captación y acumulación del agua en el suelo (Palabral, 2013).

Resultados similares, se obtuvieron en el trabajo de investigación de Palacios (2021), quien estudio los humedales altoandinos - sector Moyobamba - Junín, donde realizó el análisis de correlación de Pearson para los parámetros del porcentaje de la humedad gravimétrica, porcentaje de la materia orgánica, pH y la conductividad eléctrica del suelo; encontrando correlaciones positivas entre el pH y la conductividad eléctrica ($\rho = ,83$; $p = ,000$) y correlaciones negativas de la materia orgánica con el pH ($\rho = - ,404$; $p = ,001$) y la conductividad eléctrica ($\rho = - ,484$; $p = ,002$) con un nivel de significancia de ,05; en Huamán, Espinoza, Barrial y Ponce (2021), en el análisis de correlación de Pearson, registró valores de correlaciones positiva entre la materia orgánica y el carbono orgánico del suelo ($\rho = ,91$; $p = ,000$), de igual forma resaltar la importancia de la correlación de la temperatura y la altitud con el COS, en el análisis de relación de la temperatura y el COS, donde existe una relación inversa fuerte, indicando que a menor temperatura del suelo existe una mayor acumulación del COS ($\rho = - ,82$; $p = ,000$) de igual forma registra una relación directa positiva fuerte entre la altitud y el COS (tC/ha) ($\rho = ,84$; $p = ,000$), afirmando que a mayor altitud, el almacenamiento del carbono será mayor (Huamán et al., 2021), cuya afirmación concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

VI. CONCLUSIONES

1. Se registró un almacenamiento de COS (tC/ha) por profundidad mayor en el bofedal Pantumpampa (319,91 a 20 cm; 319,62 a 40 cm y 319,62 a 60 cm); seguidos por Chaqirayoq (166,65 a 20 cm; 101,76 a 40 cm y 74,77 a 60 cm) y Churia (133,68 a 20 cm; 103,55 a 40 cm y 92,93 a 60 cm) y una valoración total de COS por bofedal mayor en Pantumpampa (959,15 tC/ha), seguidos de Chaqirayoq (343,18 tC/ha) y Churia (330,16 tC/ha).
2. Se registró valores medios de COS, materia orgánica, conductividad eléctrica, humedad volumétrica, pH y densidad aparente en el bofedal Pantumpampa (251,68 tC/ha; 50,04%; 987,5 $\mu S/cm$; 40,26%; 3,76; 0,58 g/cm^3), Churia (41,63 tC/ha; 3,44%; 98,9 $\mu S/cm$; 32,36%; 4,84; 0,99 g/cm^3) y Chaqirayoq (62,20 tC/ha; 7,87%; 124,85 $\mu S/cm$; 31,41%; 4,54 y 0,91 g/cm^3 respectivamente) y con una textura de suelo orgánico (Pantumpampa) y franco arenoso en Chaqirayoq y Churia.
3. Se registró valores medios de COS, materia orgánica, conductividad eléctrica, densidad aparente, pH y humedad volumétrica a 20 cm (155,76 tC/ha; 17,26%; 269 $\mu S/cm$; 0,76 g/cm^3 ; 4,56 y 31,80%), 40 cm (83,99 tC/ha; 9,69%; 132,35 $\mu S/cm$; 0,82 g/cm^3 ; 4,67; 30,10%) y 60 cm (56,55 tC/ha; 5,34%; 136,4 $\mu S/cm$; 0,95 g/cm^3 ; 4,51 y 35,64% respectivamente), con suelo orgánico a 20 cm y 40 cm y franco arenoso a 60 cm.
4. En el análisis de correlación de Spearman del COS respecto a la profundidad del suelo en los tres bofedales evaluados, existe una correlación inversa mínima ($\rho = -0,200$; $p < 0,05$).
5. Los resultados de la correlación del COS y la profundidad frente a los parámetros fisicoquímicos del suelo, el COS mostró correlaciones directas, con la materia orgánica ($\rho = 0,985$; $p < 0,05$); conductividad eléctrica ($\rho = 0,703$; $p < 0,05$) y la humedad volumétrica ($\rho = 0,319$; $p < 0,05$); y correlaciones

inversas con el pH ($\rho = -,305$; $p < ,05$) y densidad aparente ($\rho = -,796$; $p < ,05$); la profundidad del suelo presentó una correlación inversa con la materia orgánica ($\rho = ,199$; $p < ,05$) y una correlación directa con la densidad aparente ($\rho = ,160$; $p < ,05$).

VII. RECOMENDACIONES

1. Establecer mayor número de puntos de muestreo de suelo, con el fin de obtener mayor precisión en los resultados.
2. A partir del presente trabajo de investigación determinar la relación de acumulación de carbono orgánico con el tipo de vegetación presente en los bofedales.
3. Realizar estudios sobre el valor ecológico de los bofedales altoandinos y su influencia en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico y la vegetación.
4. El Ministerio de Agricultura y Riego y los Gobiernos Regionales deben implementar políticas de manejo para la conservación de los bofedales por ser considerados ecosistemas frágiles y altamente vulnerables frente al cambio climático.
5. Realizar acuerdos entre las comunidades y los responsables de los gobiernos locales y regionales e implementar estrategias sobre el manejo del bofedal que conlleven a adoptar prácticas sostenibles, que regulen la extracción de turba, entre otras.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, T. (2018). Almacenamiento de Carbono en los Humedales Altoandinos del Centro Poblado Chalhuanca, Caylloma- Arequipa, 2017. *tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Alzérreca, H., Prieto, G., Laura, J., Luna, D., & Laguna, S. (2001). *Características y Distribución de los Bofedales en el Ámbito Boliviano*. Asociación Integral de Ganaderos en Camélidos de los Andes Altos (AIGACAA), Autoridad Binacional del lago Titicaca, La Paz, Bolivia.
- Baldoceca, I. A. (2020). Análisis de la Humedad de suelo de los bofedales Huachipampa y Tambo Real, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba. *Pregrado*. Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima, Perú.
- Bazán, R. (1989). *Manual de análisis de suelos*. LASPAF- Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Cairo, P. (1995). *La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico*. UNA-Managua, Nicaragua.
- Calvache, M. (2002). Manejo del Agua: Principios Fundamentales. *VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, (pág. 28). Quito.
- Calvache, M. (2010). Física de Suelos y su relación con los problemas Ambientales. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 15.
- Cárdenas, S. M. (2019). Macroinvertebrados acuáticos en ambientes lénticos y características fisicoquímicas del agua en bofedales de la cabecera del río Apacheta, Cangallo, Ayacucho 2016. *Pregrado*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Decreto Supremo N° 006- 2021-MINAM. (06 de mayo de 2021). Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Departamento de Agricultura. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo*.
- Fernández, M. N. (2019). Cuantificación del Carbono Orgánico acumulado en el Suelo de Turberas de Alto Perú en Cajamarca - 2018. *Pregrado*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Flores, E. R. (2014). *Marco Conceptual y Metodológico para estimar el Estado de Salud de los Bofedales: Nota Técnica 9*. Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales -UNALM, Huaráz. Ministerio del Ambiente.
- Fuentealba, B. (5 de Febrero de 2019). *Bofedales: características y su importancia frente al cambio climático*. Obtenido de

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/Bofedales-caracter%C3%ADsticas-y-su-importancia-frente-al-cambio-clim%C3%A1tico.pdf>

- Gobierno Regional Ayacucho. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica Ayacucho*. Ayacucho-Perú: Departamental de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019). *El Cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de la tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*. Resumen para responsables de políticas .
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 9.
- Huamán, M. L., Espinoza, F., Barrial, A. I., & Ponce, Y. (2021). Influence of altitude and soil characteristics on organic carbon storage capacity of high Andean natural pastures. *Sciencia Agropecuaria*, 8.
- Huiza, W., & Quispe, J. C. (2017). Evaluación de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo de los Tipos de Pastizal del Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos- Lachocc. *Pre grado*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Janzen, H. H. (1993). *Sales solubles*. Sociedad Canadiense de Ciencias del Suelo.
- Jaramillo , D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, V. (2007). *El ciclo global del Carbono*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático, México.
- León, A. Y. (2016). Reserva de Carbono en Bofedales y su relación con la Florística y Condición del Pastizal. *Post grado*. Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Ley General del Ambiente- ley N° 28611. (13 de Octubre de 2005). Lima, Perú: Congreso de la Republica.
- López , M., Hergoualc'h, K., Angulo, O., Baker, T., Chimner, R., Del Águila, J., . . . Vacalla, F. (2020). *¿Qué sabemos sobre las turberas peruanas?* Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Maldonado , M. S. (2018). Dinámica espacio temporal de la flora de bofedales en Ayacucho y Huancavelica 2010-2012. *Tesis pregrado*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima- Perú.

- Maldonado, M. S. (2014). *Introducción a los bofedales de la región Altoandina Peruana*. Lima-Perú: Grupo Internacional de Conservación de Turbales.
- Mamani, D. M., & Mamani, H. O. (2019). Determinación del secuestro de dióxido de carbono (CO₂) en el suelo mediante sumideros de carbono: Puyas de Raimondi (*Puya raimondii* Harms), Pajonal con Chillihuales y Bofedal, en el distrito de Putina – Puno, 2018. *pregrado*. Universidad Peruana Unión, Juliaca.
- Mango, B. C. (2017). *Valoración económica de los servicios ecosistémicos de regulación, de los bofedales del centro poblado de Chalhuanca, Distrito de Yanque, Provincia de Caylloma, Región Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Marín, J., Hernández, M. E., & Moreno, P. (2011). Secuestro de Carbono en suelos de Humedales Costeros de agua dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9.
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. 29.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Lima-Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva*. Lima-Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de Evaluación del estado del Ecosistema de Bofedal*. Lima-Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Memoria Descriptiva del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Lima- Perú: Ministerio del Ambiente.
- Moncada, W., Willems, B., & Rojas, J. (2020). Estimación de estadíos estacionales a partir de parámetros climáticos medidos en la estación meteorológica de la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho, 2000 al 2018. *Revista de Investigación de Física*, 9.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el Potencial oculto*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- Palabral, A. N. (2013). *Relación de la Composición Florística y su Biomasa Subterránea con las Variables Hidrológicas en Bofedales de Sajama, Bolivia Temática: Bofedales*. Herbario Nacional de Bolivia, Bolivia.
- Palacios, G. R. (2021). Determinación de humedad de suelo para la conservación de los humedales altoandinos - Sector Moyobamba, Yauyos. *Pre grado*. Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huaura, Perú.

- Personal de estudio de suelos. (1993). *Manual de levantamiento de suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Washington, D.C.
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología: Para la Agricultura y el Medio Ambiente*. España: Mundi-Prensa.
- Portal, E. (2019). Influencia de la napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en bofedales altoandinos. *Postgrado*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Ramírez, R. (1997). *Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos*. Bogota, Colombia.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la Zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 17.
- Secretaria Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guia a la convención sobre Humedales*. Gland -Suiza: Copyrigt.
- Smith, J. L., & Dorán, J. W. (1996). *Medición y uso de PH y conductividad eléctrica para el análisis de la calidad del suelo*.
- Universidad de Caldas. (2011). *Edafología 1*. Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Churia, Ayacucho 2016-2017.

Transecto	Calicata	Profundidad	Temporada seca		Temporada húmeda	
			Codificación	Característica	Codificación	Característica
T1	C1	20	BCh TAC1-20	Transecto alto, calicata 1-profundidad 20cm	BCh2 TAC1-20	Transecto alto, calicata 1-profundidad 20cm
		40	BCh TAC1-40	Transecto alto, calicata 1-profundidad 40cm	BCh2 TAC1-40	Transecto alto, calicata 1-profundidad 40cm
		60	BCh TAC1-60	Transecto alto, calicata 1-profundidad 60cm	BCh2 TAC1-60	Transecto alto, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	BCh TAC2-20	Transecto alto, calicata 2-profundidad 20cm	BCh2 TAC2-20	Transecto alto, calicata 2-profundidad 20cm
		40	BCh TAC2-40	Transecto alto, calicata 2-profundidad 40cm	BCh2 TAC2-40	Transecto alto, calicata 2-profundidad 40cm
		60	BCh TAC2-60	Transecto alto, calicata 2-profundidad 60cm	BCh2 TAC2-60	Transecto alto, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	BCh TAC3-20	Transecto alto, calicata 3-profundidad 20cm	BCh2 TAC3-20	Transecto alto, calicata 3-profundidad 20cm
		40	BCh TAC3-40	Transecto alto, calicata 3-profundidad 40cm	BCh2 TAC3-40	Transecto alto, calicata 3-profundidad 40cm
		60	BCh TAC3-60	Transecto alto, calicata 3-profundidad 60cm	BCh2 TAC3-60	Transecto alto, calicata 3-profundidad 60cm
T2	C1	20	BCh TMC1-20	Transecto medio, calicata 1-profundidad 20cm	BCh2 TMC1-20	Transecto medio, calicata 1-profundidad 20cm
		40	BCh TMC1-40	Transecto medio, calicata 1-profundidad 40cm	BCh2 TMC1-40	Transecto medio, calicata 1-profundidad 40cm
		60	BCh TMC1-60	Transecto medio, calicata 1-profundidad 60cm	BCh2 TMC1-60	Transecto medio, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	BCh TMC2-20	Transecto medio, calicata 2-profundidad 20cm	BCh2 TMC2-20	Transecto medio, calicata 2-profundidad 20cm
		40	BCh TMC2-40	Transecto medio, calicata 2-profundidad 40cm	BCh2 TMC2-40	Transecto medio, calicata 2-profundidad 40cm
		60	BCh TMC2-60	Transecto medio, calicata 2-profundidad 60cm	BCh2 TMC2-60	Transecto medio, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	BCh TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm	BCh2 TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm
		40	BCh TMC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm	BCh2 TMC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm
		60	BCh TMC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm	BCh2 TMC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm
T3	C1	20	BCh TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 20cm	BCh2 TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 20cm
		40	BCh TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 40cm	BCh2 TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 40cm
		60	BCh TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 60cm	BCh2 TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	BCh TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 20cm	BCh2 TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 20cm
		40	BCh TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 40cm	BCh2 TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 40cm
		60	BCh TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 60cm	BCh2 TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	BCh TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm	BCh2 TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm
		40	BCh TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm	BCh2 TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm
		60	BCh TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm	BCh2 TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm

Anexo 2. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Chaqirayoq, Ayacucho 2016-2017.

Transecto	Calicata	Profundidad	Temporada seca		Temporada húmeda	
			Codificación	Característica	Codificación	Característica
T1	C1	20	Chj TAC1-20	Transecto alto, calicata 1-profundidad 20cm	Chj2 TAC1-20	Transecto alto, calicata 1-profundidad 20cm
		40	Chj TAC1-40	Transecto alto, calicata 1-profundidad 40cm	Chj2 TAC1-40	Transecto alto, calicata 1-profundidad 40cm
		60	Chj TAC1-60	Transecto alto, calicata 1-profundidad 60cm	Chj2 TAC1-60	Transecto alto, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	Chj TAC2-20	Transecto alto, calicata 2-profundidad 20cm	Chj2 TAC2-20	Transecto alto, calicata 2-profundidad 20cm
		40	Chj TAC2-40	Transecto alto, calicata 2-profundidad 40cm	Chj2 TAC2-40	Transecto alto, calicata 2-profundidad 40cm
		60	Chj TAC2-60	Transecto alto, calicata 2-profundidad 60cm	Chj2 TAC2-60	Transecto alto, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	Chj TAC3-20	Transecto alto, calicata 3-profundidad 20cm	Chj2 TAC3-20	Transecto alto, calicata 3-profundidad 20cm
		40	Chj TAC3-40	Transecto alto, calicata 3-profundidad 40cm	Chj2 TAC3-40	Transecto alto, calicata 3-profundidad 40cm
		60	Chj TAC3-60	Transecto alto, calicata 3-profundidad 60cm	Chj2 TAC3-60	Transecto alto, calicata 3-profundidad 60cm
T2	C1	20	ChjTMC1-20	Transecto medio, calicata 1-profundidad 20cm	Chj2 TMC1-20	Transecto medio, calicata 1-profundidad 20cm
		40	Chj TMC1-40	Transecto medio, calicata 1-profundidad 40cm	Chj2 TMC1-40	Transecto medio, calicata 1-profundidad 40cm
		60	Chj TMC1-60	Transecto medio, calicata 1-profundidad 60cm	Chj2 TMC1-60	Transecto medio, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	ChjTMC2-20	Transecto medio, calicata 2-profundidad 20cm	Chj2 TMC2-20	Transecto medio, calicata 2-profundidad 20cm
		40	Chj TMC2-40	Transecto medio, calicata 2-profundidad 40cm	Chj2 TMC2-40	Transecto medio, calicata 2-profundidad 40cm
		60	Chj TMC2-60	Transecto medio, calicata 2-profundidad 60cm	Chj2 TMC2-60	Transecto medio, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	Chj TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm	Chj2 TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm
		40	ChjTMC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm	Chj2 TMC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm
		60	ChjTMC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm	Chj2 TMC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm
T3	C1	20	Chj TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 20cm	Chj2 TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 20cm
		40	Chj TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 40cm	Chj2 TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 40cm
		60	Chj TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 60cm	Chj2 TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1-profundidad 60cm
	C2	20	Chj TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 20cm	Chj2 TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 20cm
		40	Chj TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 40cm	Chj2 TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 40cm
		60	Chj TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 60cm	Chj2 TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2-profundidad 60cm
	C3	20	Chj TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm	Chj2 TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 20cm
		40	Chj TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm	Chj2 TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 40cm
		60	Chj TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm	Chj2 TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3-profundidad 60cm

Anexo 3. Codificación de las muestras de suelo del bofedal Pantiumpampa. Ayacucho 2016-2017

Transecto	Calicata	Profundidad	Temporada seca		Temporada húmeda		
			Codificación	Característica	Codificación	Característica	
T1	C1	20	P TAC1-20	Transecto alto, calicata 1- profundidad 20cm	Pj2 TAC1-20	Transecto alto, calicata 1- profundidad 20cm	
		40	P TAC1-40	Transecto alto, calicata 1- profundidad 40cm	P2 TAC1-40	Transecto alto, calicata 1- profundidad 40cm	
		60	P TAC1-60	Transecto alto, calicata 1- profundidad 60cm	P2 TAC1-60	Transecto alto, calicata 1- profundidad 60cm	
	C2	20	P TAC2-20	Transecto alto, calicata 2- profundidad 20cm	P2 TAC2-20	Transecto alto, calicata 2- profundidad 20cm	
		40	P TAC2-40	Transecto alto, calicata 2- profundidad 40cm	Pj2 TAC2-40	Transecto alto, calicata 2- profundidad 40cm	
		60	Pi TAC2-60	Transecto alto, calicata 2- profundidad 60cm	P2 TAC2-60	Transecto alto, calicata 2- profundidad 60cm	
	C3	20	P TAC3-20	Transecto alto, calicata 3- profundidad 20cm	P2 TAC3-20	Transecto alto, calicata 3- profundidad 20cm	
		40	P TAC3-40	Transecto alto, calicata 3- profundidad 40cm	P2 TAC3-40	Transecto alto, calicata 3- profundidad 40cm	
		60	P TAC3-60	Transecto alto, calicata 3- profundidad 60cm	P2 TAC3-60	Transecto alto, calicata 3- profundidad 60cm	
	C4	20	P TAC3-20	Transecto alto, calicata 3- profundidad 20cm	P2 TAC3-20	Transecto alto, calicata 3- profundidad 20cm	
		40	P TAC3-40	Transecto alto, calicata 3- profundidad 40cm	P2 TAC3-40	Transecto alto, calicata 3- profundidad 40cm	
		60	P TAC3-60	Transecto alto, calicata 3- profundidad 60cm	P2 TAC3-60	Transecto alto, calicata 3- profundidad 60cm	
	T2	C1	20	PTMC1-20	Transecto medio, calicata 1- profundidad 20cm	P2 TMC1-20	Transecto medio, calicata 1- profundidad 20cm
			40	P TMC1-40	Transecto medio, calicata 1- profundidad 40cm	P2 TMC1-40	Transecto medio, calicata 1- profundidad 40cm
			60	P TMC1-60	Transecto medio, calicata 1- profundidad 60cm	P2 TMC1-60	Transecto medio, calicata 1- profundidad 60cm
C2		20	PTMC2-20	Transecto medio, calicata 2- profundidad 20cm	P2 TMC2-20	Transecto medio, calicata 2- profundidad 20cm	
		40	P TMC2-40	Transecto medio, calicata 2- profundidad 40cm	P2 TMC2-40	Transecto medio, calicata 2- profundidad 40cm	
		60	P TMC2-60	Transecto medio, calicata 2- profundidad 60cm	P2 TMC2-60	Transecto medio, calicata 2- profundidad 60cm	
C3	20	P TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 20cm	P2 TMC3-20	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 20cm		
	40	PTMC3-40	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 40cm	P2 TMC3-40	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 40cm		
	60	PTMC3-60	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 60cm	P2 TMC3-60	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 60cm		
T3	C1	20	P TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 20cm	P2 TBC1-20	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 20cm	
		40	P TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 40cm	P2 TBC1-40	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 40cm	
		60	P TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 60cm	P2 TBC1-60	Transecto bajo, calicata 1- profundidad 60cm	
	C2	20	P TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 20cm	P2 TBC2-20	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 20cm	
		40	P TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 40cm	P2 TBC2-40	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 40cm	
		60	P TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 60cm	P2 TBC2-60	Transecto bajo, calicata 2- profundidad 60cm	
	C3	20	P TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 20cm	P2 TBC3-20	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 20cm	
		40	P TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 40cm	P2 TBC3-40	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 40cm	
		60	P TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 60cm	P2 TBC3-60	Transecto bajo, calicata 3- profundidad 60cm	

Anexo 4. Prueba de normalidad para los tres bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.

	Bofedal	Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
M_orgánica	Churia	,258	54	,000	,664	54	,000
	Chaquirayoq	,218	54	,000	,751	54	,000
	Pantiumpampa	,149	60	,002	,919	60	,001
COS	Churia	,197	54	,000	,812	54	,000
	Chaquirayoq	,138	54	,012	,894	54	,000
	Pantiumpampa	,083	60	,200 [*]	,971	60	,171
pH	Churia	,094	54	,200 [*]	,974	54	,285
	Chaquirayoq	,127	54	,031	,950	54	,025
	Pantiumpampa	,157	60	,001	,922	60	,001
C_eléctrica	Churia	,224	54	,000	,793	54	,000
	Chaquirayoq	,267	54	,000	,654	54	,000
	Pantiumpampa	,234	60	,000	,697	60	,000
Textura	Churia	,295	54	,000	,755	54	,000
	Chaquirayoq	,267	54	,000	,736	54	,000
	Pantiumpampa	,455	60	,000	,564	60	,000
D_aparente	Churia	,156	54	,002	,932	54	,005
	Chaquirayoq	,143	54	,008	,953	54	,033
	Pantiumpampa	,160	60	,001	,883	60	,000
H_volumétrica	Churia	,116	54	,066	,965	54	,121
	Chaquirayoq	,104	54	,200 [*]	,968	54	,162
	Pantiumpampa	,084	60	,200 [*]	,977	60	,331

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Anexo 5. Prueba de normalidad para las tres profundidades de suelo en los bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.

	Profundidad	Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
M_orgánica	20 cm	,163	56	,001	,853	56	,000
	40 cm	,227	56	,000	,790	56	,000
	60 cm	,269	56	,000	,752	56	,000
COS	20 cm	,096	56	,200 [*]	,934	56	,004
	40 cm	,166	56	,001	,861	56	,000
	60 cm	,224	56	,000	,808	56	,000
pH	20 cm	,188	56	,000	,906	56	,000
	40 cm	,170	56	,000	,918	56	,001
	60 cm	,145	56	,005	,938	56	,006
C_eléctrica	20 cm	,315	56	,000	,422	56	,000
	40 cm	,310	56	,000	,652	56	,000
	60 cm	,313	56	,000	,531	56	,000
Textura	20 cm	,363	56	,000	,680	56	,000
	40 cm	,335	56	,000	,767	56	,000
	60 cm	,324	56	,000	,717	56	,000
D_aparente	20 cm	,113	56	,072	,944	56	,011
	40 cm	,107	56	,172	,951	56	,023
	60 cm	,131	56	,018	,931	56	,003
H_volumétrica	20 cm	,099	56	,200 [*]	,980	56	,496
	40 cm	,126	56	,028	,971	56	,196
	60 cm	,101	56	,200 [*]	,977	56	,358

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Anexo 6. Prueba de normalidad para las dos temporadas de los bofedales, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.

	Temporada	Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
M_orgánica	seca	,233	84	,000	,772	84	,000
	húmeda	,195	84	,000	,847	84	,000
COS	seca	,187	84	,000	,816	84	,000
	húmeda	,139	84	,000	,914	84	,000
pH	seca	,115	84	,008	,932	84	,000
	húmeda	,176	84	,000	,923	84	,000
C_eléctrica	seca	,332	84	,000	,437	84	,000
	húmeda	,293	84	,000	,540	84	,000
Textura	seca	,325	84	,000	,767	84	,000
	húmeda	,340	84	,000	,691	84	,000
D_aparente	seca	,113	84	,010	,966	84	,025
	húmeda	,127	84	,002	,928	84	,000
H_volumétrica	seca	,084	84	,200 [*]	,984	84	,382
	húmeda	,094	84	,061	,972	84	,062

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Anexo 7. Estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del suelo según bofedal, temporada y profundidad de suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016 - 2017.

Parámetros	Estadístico	BOFEDAL			TEMPORADA		PROFUNDIDAD		
		Churia	Chaqi rayoq	Pantium pampa	Época seca	Época húmed.	20 cm	40 cm	60 cm
Conductividad eléctrica (uS/cm)	Media	151,86	140,37	1439,06	461,49	754,28	555,32	477,86	790,47
	Mediana	124,85	98,9	987,5	108,80	255,50	269	132,35	136,4
	Desviación Estándar	112,42	159,29	1687,05	1024,48	1315,83	1098,33	707,44	1581,59
	Máximo	620	956	8450	7830	8450	7830	3550	8450
	Mínimo	33,8	15,2	29,1	15,2	38,9	24,8	15,2	19,9
	Media	4,88	4,42	3,61	3,79	4,77	4,27	4,26	4,30
	Mediana	4,84	4,54	3,76	3,80	4,84	4,56	4,67	4,51
pH	Desviación Estándar	0,33	0,87	1,02	0,94	0,70	0,91	0,99	0,99
	Máximo	5,58	5,85	5,85	5,40	5,85	5,79	5,80	5,85
	Mínimo	3,85	2,45	2,30	2,30	2,45	2,34	2,30	2,45
	Media	0,94	0,82	0,65	0,84	0,75	0,75	0,79	0,86
	Mediana	0,99	0,91	0,57	0,89	0,75	0,76	0,82	0,95
	Desviación Estándar	0,25	0,26	0,28	0,27	0,33	0,26	0,30	0,30
	Máximo	1,39	1,32	1,37	1,39	1,37	1,25	1,39	1,37
Densidad aparente (g/cm ³)	Mínimo	0,37	0,35	0,33	0,34	0,33	0,37	0,33	0,34
	Media	2,44	2	2,17	2,45	1,95	2,02	2,34	2,25
	Mediana	2	1,5	2	2	2	2	2	2
	Desviación Estándar	1,92	1,37	1,21	1,8	1,14	1,152	1,576	1,781
	Máximo	8	6	6	8	7	7	7	8
	Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1
	Media	32,36	31,42	40,26	34,32	35,43	34,74	32,60	37,29
Humedad volumétrica (%)	Mediana	31,23	30,24	42,2	31,63	33,12	31,80	30,10	35,64
	Desviación Estándar	15,83	7,63	14,79	13,97	13,77	14,31	14,05	12,98
	Máximo	74,49	56,69	69,21	69,21	74,49	74,49	69,21	65,26
	Mínimo	3,98	14,60	7,39	6,54	3,98	3,98	6,28	8,30
	Media	10,21	12,43	42,00	16,48	28,08	25,97	21,92	18,94
	Mediana	3,44	7,87	50,04	8,20	17,50	17,26	9,69	5,34
	Desviación Estándar	15,74	15,64	27,52	20,78	28,14	24,95	26,19	24,81
Materia orgánica (%)	Máximo	69,31	78,55	87,56	77,95	87,56	79,96	87,56	87,51
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	74,10	85,68	245,69	113,17	165,04	166,33	131,40	119,58
	Mediana	41,63	62,20	251,68	69,64	143,79	155,76	83,99	56,55
	Desviación Estándar	84,60	78,74	143,28	127,54	135,33	127,33	132,62	138,69
	Máximo	340,82	346,26	587,73	587,73	457,01	587,73	454,77	498,75
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
COS (tC/ha)	Desviación Estándar	84,60	78,74	143,28	127,54	135,33	127,33	132,62	138,69
	Máximo	340,82	346,26	587,73	587,73	457,01	587,73	454,77	498,75
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Desviación Estándar	84,60	78,74	143,28	127,54	135,33	127,33	132,62	138,69

Anexo 8. Prueba de Kruskal- Wallis

- a. Prueba de hipótesis de Kruskal – Wallis para determinar si los bofedales varían en función de la materia orgánica, COS, pH, conductividad eléctrica y densidad aparente en el suelo.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de COS es la misma entre las categorías de bofedal.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
2	La distribución de M_ orgánica es la misma entre las categorías de bofedal.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
3	La distribución de pH es la misma entre las categorías de bofedal.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
4	La distribución de C_ eléctrica es la misma entre las categorías de bofedal.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
5	La distribución de D_ aparente es la misma entre las categorías de bofedal.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.				

- b. Prueba de hipótesis de Kruskal – Wallis para determinar si en las tres profundidades del suelo, varían en función de la materia orgánica, COS, pH, conductividad eléctrica, densidad aparente y humedad volumétrica en el suelo.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de COS es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,028	Rechazar la hipótesis nula.
2	La distribución de M_ orgánica es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,034	Rechazar la hipótesis nula.
3	La distribución de pH es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,882	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de C_ eléctrica es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,341	Retener la hipótesis nula.
5	La distribución de D_ aparente es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,109	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de H_ volumétrica es la misma entre las categorías de Profundidad.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,113	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.				

- c. Prueba de hipótesis de Kruskal – Wallis Prueba de hipótesis para determinar si en las dos temporadas de evaluación del suelo varían en función de la conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, pH y densidad aparente en el suelo.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de COS es la misma entre las categorías de temporada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,008	Rechazar la hipótesis nula.
2	La distribución de M_ orgánica es la misma entre las categorías de temporada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,007	Rechazar la hipótesis nula.
3	La distribución de pH es la misma entre las categorías de temporada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
4	La distribución de C_ eléctrica es la misma entre las categorías de temporada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
5	La distribución de D_ aparente es la misma entre las categorías de temporada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,047	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.				

Anexo 9. Análisis de varianza del parámetro de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantiumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H_volumétrica	Entre grupos	2730,740	2	1365,370	7,697	,001
	Dentro de grupos	29269,021	165	177,388		
	Total	31999,761	167			

Anexo 10. Comparación de medias de la humedad volumétrica en los bofedales de Churia, Chaqirayoc y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Bofedal	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Chaqirayoc	54	31,4152	
Churia	54	32,3561	
Pantumpampa	60		40,2628
Sig.		,926	1,000

Anexo 11. Análisis de varianza del parámetro de la humedad volumétrica en las dos temporadas, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H_volumétrica	Entre grupos	51,371	1	51,371	,267	,606
	Dentro de grupos	31948,390	166	192,460		
	Total	31999,761	167			

Anexo 12. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura del suelo, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

		textura			
		Frecuencia	Porcentaje (%)	Porcentaje válido (%)	Porcentaje acumulado (%)
Válido	Franco arenoso	62	36,9	36,9	36,9
	Suelo orgánico	71	42,3	42,3	79,2
	Arena franco	7	4,2	4,2	83,3
	Franco	13	7,7	7,7	91,1
	Franco arcilloso	2	1,2	1,2	92,3
	Franco arcilloso arenoso	9	5,4	5,4	97,6
	Arena	3	1,8	1,8	99,4
	Franco limoso	1	,6	,6	100,0
	Total	168	100,0	100,0	

Anexo 13. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura de suelo en los bofedales de Churia, Chaqirayoq y Pantumpampa, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

		Bofedal						Total
		Churia		Chaqirayoq		Pantumpampa		
		Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)	
Textura	Franco arenoso	24	44	27	50	11	18	62
	Suelo orgánico	14	26	14	26	43	72	71
	Arena franco	2	4	5	9	0	0	7
	Franco	7	13	5	9	1	2	13
	Franco arcilloso	1	2	0	0	1	2	2
	Franco arcilloso Arenoso	2	4	3	6	4	7	9
	Arena	3	6	0	0	0	0	3
	Franco limoso	1	2	0	0	0	0	1
Total		54	100	54	100	60	100	168

Anexo 14. Análisis de frecuencia y porcentaje de la textura de suelo a 20cm, 40cm y 60cm de profundidad, microcuenca Apacheta, Ayacucho 2016-2017.

		Profundidad						Total
		20 cm		40 cm		60 cm		
		Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)	
Textura	Franco arenoso	17	30	19	34	26	46	62
	Suelo orgánico	31	56	23	41	17	30	71
	Arena franco	3	5	2	4	2	4	7
	Franco	3	5	6	11	4	7	13
	Franco arcilloso	0	0	1	2	1	2	2
	Franco arcilloso arenoso	1	2	4	7	4	7	9
	Arena	1	2	1	2	1	2	3
	Franco limoso	0	0	0	0	1	2	1
Total		56	100	56	100	56	100	168

Anexo 15. Vista Panorámica de los bofedales



a. Bofedal de Chaqirayoc



b. Bofedal de Churia



c. Bofedal de Pantumpampa

Anexo 16. Recojo de muestras de suelo en los bofedales y procesamiento en el laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas.



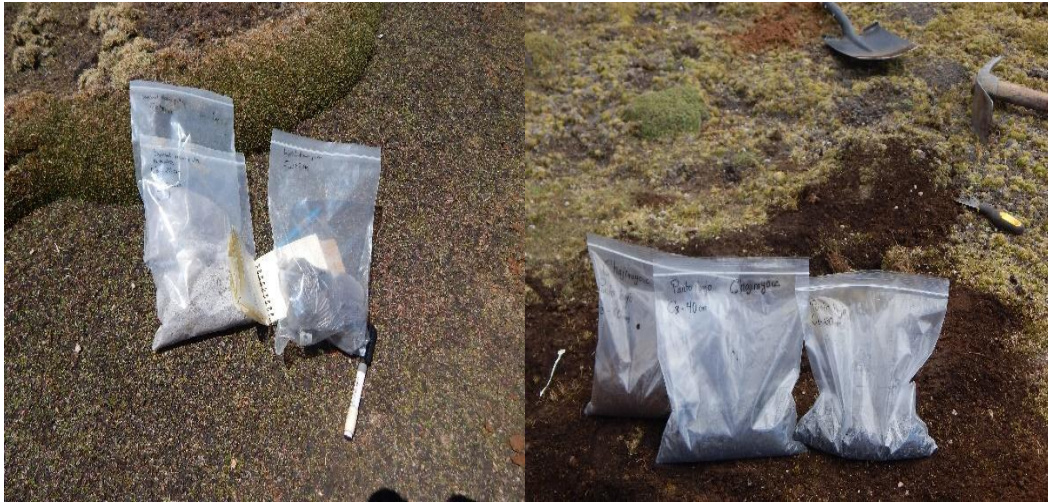
Equipo de trabajo realizando algunas coordinaciones



Ayudantes realizando las calicatas



Tesista y ayudantes realizando la medición de la profundidad de la calicata con la ayuda de un flexómetro.



Embolsado de las muestras de suelo obtenidas a profundidades de 20, 40 y 60 cm de profundidad.



Muestras de suelo procesadas en el laboratorio de calidad ambiental



Tesista realizando el análisis fisicoquímico de las muestras de suelo.

Anexo 17. Matriz de consistencia

Título: Relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta. Ayacucho 2016

Autor: Bach. Roseli Omonte Quispe

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál será la relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca de Apacheta?	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar la relación de la profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico en tres bofedales altoandinos de la microcuenca Apacheta.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcular la cantidad de carbono orgánico almacenado a diferentes profundidades en tres bofedales de la microcuenca Apacheta. 2. Evaluar las características fisicoquímicas del suelo; textura, densidad aparente, humedad volumétrica, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica a diferentes profundidades del suelo de los bofedales altoandinos. 3. Relacionar el contenido de carbono orgánico con las características fisicoquímicas del suelo; textura, densidad aparente, humedad volumétrica, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica en diferentes profundidades del suelo del bofedal. 	<p>Bofedales Distribución e importancia de los bofedales. Tipos de bofedales. Suelo de bofedales. Servicio Ecosistémicos de los bofedales Servicio de regulación de bofedales Captura y almacenamiento de carbono orgánico en los bofedales. Carbono orgánico del suelo</p> <p>Propiedades físicas del suelo. - Textura - Densidad aparente. - Humedad volumétrica.</p> <p>Propiedades químicas del suelo. - Carbono orgánico - Materia orgánica - Potencial de hidrógeno - Conductividad eléctrica.</p>	<p>La profundidad del suelo con el contenido de carbono orgánico presentan una relación inversa, al aumentar la profundidad del suelo en el bofedal disminuye el contenido de carbono.</p>	<p>Variables independientes -Profundidad Cm</p> <p>Variables dependiente -Carbono orgánico del suelo tC/Ha</p> <p>C. Variables asociadas -Textura Clase textural -Densidad aparente g/cm³ -Humedad volumétrica % -Materia orgánica % - carbono orgánico % -pH Unidad de pH -Conductividad eléctrica uS/cm</p>	<p>INVESTIGACIÓN Descriptivo/correlacional.</p> <p>POBLACIÓN Suelos de tres bofedales de la microcuenca Apacheta.</p> <p>MUESTRA Ciento sesenta y ocho muestras de suelo de tres bofedales, bofedal Churia (27 muestras), bofedal Chaqirayoc (27 muestras) y bofedal Pantumpampa (30 muestras), 84 muestras de suelo por temporada.</p> <p>METODOLOGÍA En cada bofedal, se realizó el muestreo determinístico ubicando tres transectos transversales (T. alto, T.medio y T. bajo), en cada transecto se realizó un muestreo sistemático por cuadrante (calicata), ubicando la calicata (C1, C2 y C3) distanciados cada 80 metros; y en cada calicata se realizó un muestreo sistemático cada 20 cm, obteniendo muestras a 20, 40 y 60cm de profundidad de suelo.</p>