



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

**Influencia de la Napa freática sobre la vegetación y  
capacidad de carga animal en bofedales altoandinos**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales

**AUTOR**

Edwin PORTAL QUICANA

**ASESOR**

Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ

Lima, Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
Universidad del Perú, Decana de América  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los dieciocho días del mes de marzo del 2019, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 122/UPG-FIGMMG/2019 del 08 de febrero del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

### TITULO

#### **«INFLUENCIA DE LA NAPA FREÁTICA SOBRE LA VEGETACIÓN Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS»**

Que, presenta el Mag. **EDWIN PORTAL QUICAÑA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**.

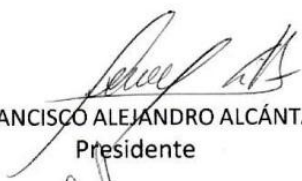
El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N.º 06220-FIGMMG-2013 del 20 de agosto del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Doctorado».

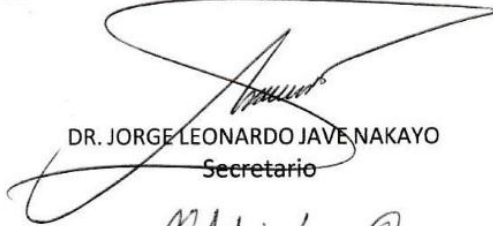
Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:


*Muy Bueno (17)*

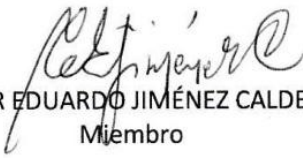
Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES** al Mag. **EDWIN PORTAL QUICAÑA**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico

  
DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA  
Presidente

  
DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO  
Secretario

  
DR. NIELS MARCIANO VALENCIA CHACÓN  
Miembro

  
DR. CÉSAR EDUARDO JIMÉNEZ CALDERÓN  
Miembro

  
DR. CARLOS EMILIO CARRASCO BADAJOZ  
Asesor

*A Dios, expresado en la naturaleza por  
permitirme conocer su creación.*

*Al hombre altoandino, que con sabiduría  
cría y se deja criar por la naturaleza.*

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes del programa del Doctorado en Ciencias Ambientales de la FIGMMG -UNMSM, que contribuyeron con conocimientos y consejos para ser un profesional íntegro.

Al Dr. Carlos Carrasco Badajoz, profesor Principal de la UNSCH, asesor del presente trabajo de investigación, por su orientación, contribución y valiosa asesoría científica.

A los miembros de la Comunidad Campesina de Minas Corral y Occollo del distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho por permitirme el trabajo de campo en el bofedal Minas Corral.

A mi esposa Rosa y mis hijos Jared, Manu, Killari y Amaru por su paciencia, apoyo y aliento en los momentos de alegría y trajinar de la vida, de igual modo a mis padres Víctor y Rebeca, a mis hermanos Luz María, Raquel y Víctor, a ellos por su apoyo de siempre.

A mis amigos y colegas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. A Pablo Najarro Cerón y Dimas Quintanilla Melgar por la identificación de las plantas, a mis alumnos y tesisistas de pre grado y posgrado por el apoyo en la fase de campo.

A la Empresa INGEOTECON EIRL Ingeniería, Geotecnia y Concreto por su apoyo en el procesamiento y análisis de muestras de suelos y la logística para el trabajo de campo.

A todos mis amigos y compañeros de estudio del doctorado en Ciencias Ambientales, por compartir experiencias, anécdotas y contribuir profesionalmente en el desarrollo del país.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación problemática.....	2
1.2. Formulación del problema de investigación .....	3
Problema General	3
Problemas Específicos	3
1.3. Justificación teórica.....	4
1.4. Justificación práctica .....	4
1.5. Objetivos .....	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación .....	7
2.2. Antecedentes de investigación .....	9
2.3. Bases teóricas.....	13
2.3.1. Praderas nativas y bofedales	13
2.3.2. Ecología de los bofedales altoandinos	17
2.3.3. Capacidad de carga animal	18
2.3.4. Napa freática en los bofedales	18
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	22
3.2. Zona de estudio .....	22
3.3. Unidad de análisis .....	26
3.4. Metodología.....	27
3.4.1. Medición de la napa freática	27
3.4.2. Medición de los parámetros del agua	30
3.4.3. Evaluación de la vegetación	30

3.4.4. Determinación de la capacidad de carga animal alpaca	32
3.4.5. Determinación de las características del suelo	34
3.4.6. Análisis estadístico de la información	36
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	39
4.2. Pruebas de hipótesis .....	60
4.3. Presentación de resultados.....	74
4.3.1. Caracterización de la vegetación	75
4.3.2. Medida de la napa freática	83
4.3.3. Características químicas del agua de la napa freática	91
4.3.4. Características físicas del suelo del bofedal	98
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	115
<i>Anexo 1. Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático</i>	115
<i>Anexo 2. Registro fotográfico del trabajo de investigación .....</i>	116
<i>Anexo 3. Resultados de la ubicación de los piezómetros y la profundidad de la napa freática del Bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. ....</i>	119
<i>Anexo 4. Composición florística, cobertura vegetal y grado de palatabilidad de las especies de plantas del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.....</i>	120
<i>Anexo 5. Métodos de análisis utilizados para determinar las características del suelo del bofedal Minas Corral .....</i>	124
<i>Anexo 6. Prueba de normalidad .....</i>	136
<i>Anexo 7. Prueba de Kruskal-Wallis .....</i>	137
<i>Anexo 8. Litoestratigrafía local del Bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. ....</i>	141
<i>Anexo 9. Estratigrafía de cinco calicatas del bofedal Minas Corral. .</i>	142

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Precipitación registrada por la red hidrometeorológica Apacheta y profundidad de napa freática promedio mensual del bofedal Minas Corral. Vinchos. Ayacucho. -----	25
Cuadro 2. Carga animal recomendada por condición de pastizal nativo-----	34
Cuadro 3. Métodos de análisis utilizados para determinar las características del suelo del bofedal Minas Corral. -----	36
Cuadro 4. Correlación de Spearman entre la profundidad de la napa freática con los tipos de vegetación y carga animal en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	61
Cuadro 5. Correlación de Spearman entre la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho -----	69
Cuadro 6. Cobertura de la muestra y la riqueza observada y estimada de la flora del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	75
Cuadro 7. Especies comunes y únicas en tres formaciones vegetales del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	79
Cuadro 8. Riqueza de especies (S) para los tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	80
Cuadro 9. Valores de similitud de Jaccard (J) de la composición florística entre tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	81
Cuadro 10. Capacidad de carga del bofedal en UAalpaca en tres tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	82
Cuadro 11. Características físicas del suelo registrado en cinco calicatas en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	100
Cuadro 12. Grados de saturación relativa en suelos -----	134
Cuadro 13. Clasificación del grado de permeabilidad del suelo-----	135
Cuadro 14. Prueba de normalidad para los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, Unidad Animal Alpaca, Conductividad eléctrica, pH del agua de la napa freática y la riqueza de especies del bofedal Minas Corral. Ayacucho. -----	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho -----	23
Figura 2. Vista satelital del bofedal Minas Corral y de la microcuenca Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	25
Figura 3. Profundidad media de la napa freática del bofedal registrados en el 2015 en relación con la precipitación media anual promedio 1991-2013. Fuente: (Red Hidrometeorológica Apacheta, 1991-2013,2015) ----	26
Figura 4. Distribución de los 31 piezómetros en relación con las curvas de nivel del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. Se observa que el piezómetro 12 se encuentra a mayor altura y el piezómetro 30 a menor altura. -----	29
Figura 5. Disposición de la unidad muestral 1m <sup>2</sup> de la vegetación con sus sub unidades muestrales de 0.25m <sup>2</sup> -----	31
Figura 6. Distribución de las 5 calicatas con sus respectivas coordenadas UTM en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	35
Figura 7. Diagrama de caja y bigotes de la prueba de Kruskal-Wallis (n=372; X <sup>2</sup> =37.324; gl=2; p=0.000 (p < 0.05)) para la comparación de la profundidad de la napa freática en los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral. -----	63
Figura 8. Comparaciones por parejas de la prueba de Kruskal-Wallis para los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	64
Figura 9. Diagrama de caja y bigotes de la prueba de Kruskal-Wallis (n=372; X <sup>2</sup> =28.203; gl=2; p=0.000 (p < 0.05)) para comparación de la profundidad de la napa freática en las condiciones de capacidad de carga UA alpaca en el bofedal Minas Corral.-----	66
Figura 10. Comparaciones por parejas de la prueba de Kruskal-Wallis para la capacidad de carga animal UA alpaca con relación a la profundidad del nivel de la napa freática del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	67
Figura 11. Diagrama de dispersión de la riqueza de especies (S) con la profundidad del nivel de la napa freática y el modelo de regresión cúbica del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	70



Figura 12. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH (n=372; $X^2=5.125$ ; $gl=2$ ; $p=0.077$ ( $p > 0.05$ )) en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	72
Figura 13. Prueba de Kruskal-Wallis para la conductividad eléctrica n=372; $X^2=0.380$ ; $gl=2$ ; $p=0.827$ ( $p > 0.05$ ) en los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	73
Figura 14. Abundancia relativa de las especies del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	76
Figura 15. Dendrograma de similitud por el método de Ward para los 31 puntos de muestreo basado en la composición y cobertura vegetal del bofedal Minas Corral Vinchos. Huamanga. Ayacucho. -----	77
Figura 16. Gráfico de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática con relación a la capacidad de carga Unidad Animal alpaca del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	83
Figura 17. Profundidad media, máxima y mínima de la napa freática en los 31 piezómetros durante el año 2015 registrado en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	85
Figura 18. Nivel piezométrico promedio, máxima y mínima registrado durante el año 2015 en relación a la cota del nivel del suelo del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	86
Figura 19. Gráfico de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática registrada en el año 2015 en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	87
Figura 20. Diagrama del árbol para la agrupación de los meses del año 2015 con relación a la profundidad del nivel freático del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	88
Figura 21. Gráfica de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	89
Figura 22. Variación de la profundidad media de la napa freática durante el año 2015 en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	90
Figura 23. Valores medio, máximo y mínimo de pH del agua de la napa freática por piezómetro del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	92

Figura 24. Valores medio, máximo y mínimo de pH del agua de la napa freática por meses del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	93
Figura 25. Valores medio, máximo y mínimo de la conductividad eléctrica del agua de la napa freática por piezómetros del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	94
Figura 26. Valores medio, máximo y mínimo de la conductividad eléctrica del agua de la napa freática por meses del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	95
Figura 27. Gráfico de medias (IC 95%) de pH y conductividad eléctrica en tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	96
Figura 28. Gráfico de medias (IC 95%) de pH y conductividad eléctrica según épocas del año en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.-----	97
Figura 29. Comportamiento de las características del suelo de saturación relativa (%), humedad gravimétrica (%), materia orgánica (%) y permeabilidad (cm/s) según la profundidad del suelo en tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.--	101
Figura 33. Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático. -----	115
Figura 31. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según los porcentajes de arena, limo y arcilla en el suelo. Fuente. SSDS (1993). -----	126

## RESUMEN

Los bofedales altoandinos tienen una dinámica ecológica relacionada con los componentes agua - suelo - vegetación. El objetivo es determinar la influencia de la capa freática sobre la vegetación y la capacidad de carga animal en los humedales altoandinos. Se instaló una red de 31 piezómetros en el bofedal Minas Corral, Vinchos, Huamanga, Ayacucho en un área de 42.55 ha. Cada piezómetro midió la profundidad del agua subterránea, el pH y la conductividad eléctrica durante el año 2015. Además, no solo se determinó la composición y la abundancia de vegetación, sino que también se evaluaron las características físicas del suelo en cinco fosas en el bofedal correspondiente a cada piezómetro. Los resultados mostraron la existencia de una alta heterogeneidad en la riqueza de especies y la abundancia de plantas, diferenciándose tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral; es decir, la vegetación hidromórfica, la vegetación mésica y la vegetación limítrofe, que están directamente relacionadas con la profundidad del agua subterránea. A menor profundidad, la vegetación hidromórfica y mésica son evidentes, a mayor profundidad emerge la vegetación limítrofe. Existe una relación inversa entre la profundidad del agua subterránea y la capacidad de carga animal, es decir, a mayor profundidad del agua subterránea, la capacidad de carga del animal de alpaca es menor por unidad / ha / año. Los valores de pH y la conductividad eléctrica del agua mostraron valores muy variables (pH de 4,76 a 8,71 y CE de 0 a 378 US / cm) condicionados por la temporalidad y las características espaciales de los valores promedios de bofedal, pH y conductividad eléctrica. Los tres tipos de vegetación no mostraron diferencias significativas entre ellos. Las características de la textura del suelo, la materia orgánica, la humedad gravimétrica, la densidad aparente, la saturación relativa y la permeabilidad del suelo están relacionadas y están relacionadas con el suelo que soporta cada tipo de vegetación.

Palabras claves: Bofedal, napa freática, capacidad de carga animal, vegetación alto andina

## ABSTRACT

The high andean bofedales have an ecological dynamics related to components water – soil - vegetation. The objective is to determine the influence of the phreatic layer on the vegetation and animal load capacity in the high andean wetlands. A network of 31 piezometers in the bofedal Minas Corral, Vinchos, Huamanga, Ayacucho was installed in an area of 42.55 ha. Each piezometer measured the depth of the groundwater, pH, and electrical conductivity during the year 2015. Also, not only the composition and abundance of vegetation were determined, but also the physical characteristics of the soil were evaluated in five pits in the bofedal corresponding to each piezometer. The results showed the existence of a high heterogeneity in the richness of species and plant abundance, differing three types of vegetation in the bofedal Minas Corral; that is hydromorphic vegetation, mesic vegetation and bordering vegetation, which are directly related to the depth of the groundwater. At a lesser depth, the hydromorphic and mesic vegetation are evident, at a greater depth the bordering vegetation emerge. There is an inverse relationship between the depth of the groundwater and the capacity of animal load, that is the greater the depth of the groundwater, the load capacity of Alpaca animal is lower per unit/ha/year. The values of pH and electrical conductivity of the water showed very variable values (pH from 4.76 to 8.71 and EC from 0 to 378 US/cm) which were conditioned by the temporality and spatial characteristics of the bofedal, pH and electrical conductivity averages values. The three types of vegetation did not show significant differences among them. The characteristics of soil texture, organic matter, gravimetric moisture, apparent density, relative saturation and soil permeability are related and are linked to the soil that supports each type of vegetation.

Key words: bofedal, groundwater, animal load capacity, highland vegetation

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

Los bofedales son ecosistemas únicos, complejos y muy sensibles donde la mayor parte del año predomina un ambiente saturado de humedad, se presentan a manera de parches aislados rodeados por ecosistemas menos húmedos como el césped de puna y páramo de puna. Juegan un papel importante por su provisión de bienes y servicios. La dinámica de sus procesos ha sido poco estudiada al igual que sus componentes biológicos que interacciona con componentes abióticos extremos (temperatura ambiental, calidad fisicoquímica del agua, entre otros).

Los bofedales actúan como almacenes de agua que caen durante la época de lluvia y que a lo largo del año van donando a pequeños sistemas loticos que nacen de ellos los que aguas abajo se convierten en ríos.

La dinámica del bofedal está asociada al componente hídrico, edáfico y vegetación, este último como consecuencia de los dos primeros provee una fuente de forraje para la ganadería altoandina, principalmente la alpaca, que constituye la principal fuente de ingresos económicos del poblador altoandino.

El conocimiento de la dinámica del bofedal altoandino permitirá generar estrategia de uso y conservación para el manejo sostenido del bofedal, la mayoría de estudios está relacionada con la determinación de la composición florística de la vegetación terrestre, mientras que son escasos

los estudios sobre la dinámica y los procesos del agua y del suelo en la vegetación.

### **1.1. Situación problemática**

Los humedales altoandinos vienen registrando cambios estructurales y funcionales por el cambio climático, intensificadas por la presión antrópica y la condición de ecosistemas frágiles, vulnerables y críticos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2005).

Los bofedales son humedales altoandinos mantenidos por manantiales, agua de deshielo, ríos y lluvias, sujetos a inundaciones temporales en épocas de lluvia, donde las especies que los habitan desarrollan ciertas estrategias y adaptaciones a las condiciones de variabilidad temporal de los flujos de agua (Schwartz y Genkins, 2000) citado por Coronel et al. (2009), desde el punto de vista ecológico muestra patrones de diversidad relacionados en general con las condiciones geofísicas, bioclimáticas y en particular con la mineralización del agua en los bofedales (Goitia, y otros, 2007).

La actividad antrópica no sostenible en los bofedales altoandinos como la captación o desvío de los cursos de agua para consumo humano, riego o actividades mineras, construcción de carreteras, sobrepastoreo y la extracción de “tepes” de *Distichia* para combustible (Coronel, Brendonck, & Declerck, 2009) y (WWF, 2005) provocan la disminución de las superficies de pastoreo repercutiendo en los ingresos económicos de las poblaciones locales y pérdida de la composición florística.

La disminución de los flujos de agua superficiales, sub superficiales y subterráneas están relacionadas a la caída del nivel de la napa freática temporal o permanente, cuya respuesta fisiológica de las plantas a estas condiciones muestra adaptaciones al estrés hídrico observándose cierta tolerancia de las plantas reflejada en la abundancia y cobertura vegetal de la especie relacionada a una mayor extensión de sus raíces.

En los bofedales altoandinos perturbados por el Derecho de Vía (DdV) de la Transportadora de Gas del Perú (TgP) se ha observado el cambio en la composición florística del bofedal, trayendo consigo la aparición de especies no palatables para las alpacas como el *Aciachne pulvinata*, originado posiblemente por la modificación del ingreso de los flujos de agua al bofedal como consecuencia de la construcción de canales de derivación y un canal recolector afectando el flujo superficial y subsuperficial del agua. Las características de la formación vegetal se encuentran muy relacionadas con la napa freática superficial (Cuesta, y otros, 2012), la vegetación por sus mismas características es muy dependiente del flujo de agua continuo, el que se encuentra en relación con la napa freática, por lo que se pretende evaluar la influencia de la profundidad de la napa freática sobre la vegetación.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### ***Problema General***

¿En qué medida la profundidad de la napa freática influye sobre los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en los bofedales altoandinos?

### ***Problemas Específicos***

1. ¿En qué medida los tres tipos de vegetación varían en función de la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral?
2. ¿En qué medida la condición de capacidad de carga animal alpaca varía con la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral?
3. ¿Qué tipo de relación presentará la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral?
4. ¿Cuáles serán las características químicas del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática según los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal altoandino Minas Corral?

### **1.3. Justificación teórica**

El Perú posee la mayor cantidad de bofedales en comparación con Chile y Bolivia (Carrasquel, 2014), el Mapa de Humedales del Perú registra para los bofedales altoandinos el 6.91 % de la extensión del territorio nacional (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM, 2015) y el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal considera una superficie de 544 562 ha que representa el 0,42 % del total nacional (Ministerio del Ambiente, 2015), contrariamente el Perú posee vacíos de información sobre el funcionamiento y el valor de estos ecosistemas.

Los bofedales han condicionado la presencia de un tipo de cultura y formas diferenciadas de apropiación y relación con la naturaleza, siendo las tierras comunales una de ellas, cuyo uso va indisolublemente ligado al concepto de capacidad de carga animal. Las comunidades campesinas sustentan su economía en la ganadería de camélidos sudamericanos (alpaca y llama); único sustento en ecosistemas de altura. La degradación de los bofedales puede generar problemas socio económico para las poblaciones locales, que por lo general son los más pobres y los directamente afectados, en la medida en que dependen de aquellos para su subsistencia (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2005), el conocimiento de la relación de la napa freática con la vegetación y en conjunto del bofedal permitirá generar modelos de funcionamiento del bofedal, que permita coadyuvar la implementación de líneas de investigación prioritarias propuestas por Polk (2017) ¿cómo se clasifica los tipos de bofedales, cuál es la nomenclatura, y cuáles indicadores se puede utilizar para su condición? ¿De dónde vienen las contribuciones hidrológicas y como varían de corto y largo plazo? que apoyaría esfuerzos de conservación para proteger estos ecosistemas y realzar su sostenibilidad.

### **1.4. Justificación práctica**

Desde un punto de vista ingenieril, muchas obras deben realizarse en condiciones de impermeabilidad, condicionando la perturbación del bofedal



tanto del flujo de agua como de la composición florística. Conocer la composición de plantas y cómo se distribuye en el bofedal en relación con la profundidad de la napa freática permitirá identificar los cambios vegetacionales cuando se han modificado los regímenes de flujo de agua, permitiendo a la población local, empresas mineras e instituciones que realicen la captación de agua y obras civiles el determinar el nivel máximo de profundidad de desvío del agua de afectación que se pueden hacer sobre el agua subterránea en los bofedales cuya perturbación no afecte la composición vegetal y la capacidad de carga animal. El nivel de la napa freática del suelo es un referente de los bofedales altoandinos que alberga un tipo de vegetación hidrofítica (Cuesta, y otros, 2012) y (Lorini, 2012).

Los bofedales son considerados de alta importancia y vulnerables a la pérdida y degradación del hábitat, su uso y aprovechamiento deben ser gestionados mediante la estrategia nacional de humedales (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM, 2015).

Los bofedales altoandinos y altioplánicos tienen vacíos de información de superficie que ocupa, de las características vegetacionales y edafohidrológicas, entre otros, información necesaria para su uso y conservación (Santos, 2010), la información generada a partir de los piezómetros permitirá la generación de modelos hidrológicos que requieren mayor información y entendimiento de los procesos hidrológicos locales. Los páramos y bofedales de la puna juegan una función importante de regulación, pero su funcionamiento no está bien descrito, lo que impide realizar proyecciones sobre cómo este funcionamiento sería afectado por el calentamiento global (Cuesta, y otros, 2012).

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar la influencia de la profundidad de la napa freática sobre los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en los bofedales altoandinos.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar en qué medida los tres tipos de vegetación varían en función de la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral.
2. Determinar en qué medida la condición de capacidad de carga animal alpaca varía en función a la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral.
3. Estimar la relación de la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal Minas Corral
4. Describir las características químicas del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática según los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal altoandino Minas Corral.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación**

Inherente al hombre es la característica de investigar, aunque no tenga conciencia de ello, y el que lo tiene lo realiza por medio de la investigación científica mediante el pensamiento científico que busca esquemas conceptuales que permitan interpretar de modo racional la realidad. En este contexto, se aborda el marco filosófico - epistemológico de la presente investigación sobre el conocimiento de la dinámica del bofedal altoandino con relación al agua de la napa freática, la vegetación y su capacidad de carga animal, sustentado en la filosofía de la cosmovisión andina, filosofía de la conservación y la filosofía de la naturaleza.

Los bofedales han condicionado la presencia de un tipo de cultura y formas diferenciadas de apropiación y relación con la naturaleza, las comunidades campesinas sustentan su economía en la ganadería de camélidos sudamericanos (alpaca y llama) único sustento en ecosistemas de altura. El hombre andino es consciente que una relación armónica con la naturaleza, provee el beneficio recíproco, y por tanto, se siente obligado a garantizar el equilibrio cósmico, a su vez la conservación se desprende de su concepción de la naturaleza como un ser vivo (Flores M. , 2011), para el hombre andino la naturaleza tiene vida, condición terrenal y humana, crece, se desarrolla, se enferma, muere, entre otros (García, 1996), en consecuencia, la conservación de los bofedales como ecosistemas en la filosofía andina se sustenta en la relación y convivencia equilibrada del hombre andino con la

naturaleza y la Pachamama (Madre Tierra), los tres constituyen y existen en un todo.

El flujo de energía en la naturaleza permite la existencia de la materia y su organización posibilitando una dinámica particular del flujo de energía, el bofedal altoandino como ecosistema se mantiene en un equilibrio ecológico dinámico donde la realidad (funcionamiento, estructura y composición del bofedal) se rige por el conocimiento científico como un modelo construido que mantiene un valor en relación a la valoración subjetiva del hombre (Choza, 1988).

El análisis del conocimiento de la dinámica del bofedal altoandino no se puede realizar de modo particular, sino de manera holística donde cada elemento de la naturaleza está conectado y es interdependiente, Margalef (1991) señala que su análisis como ciencia de creación “no ha surgido como afirmación legítima de un punto de vista particular, sino como exigencia de síntesis global de una pluralidad de puntos de vista particulares” (Margalef, 1991).

El conocimiento de la dinámica del bofedal altoandino con relación al agua de la napa freática, la vegetación y su capacidad de carga animal, permitirá la explicación de los hechos de la realidad que interrelacionan el bofedal como una unidad mediante la relación de sus componentes entre sí, sobre el cual Choza (1988) lo denomina como saber, conjunto de las ciencias de la vida que articulan los hechos donde la naturaleza interactúa y genera factores condicionantes de nuevos hechos o fenómenos (no solo la naturaleza como unidad y como totalidad de los fenómenos físicos sino también todos los aspectos de la naturaleza como realidad) y la ciencia de la naturaleza (en cuanto conjunto de las ciencias naturales) solo determinados aspectos metodológicamente acotados de la realidad física (Choza, 1988) y (Pavón, 1987). En ese sentido los tipos de vegetación del bofedal se convierte en dependiente y muy relacionada con la profundidad de la napa freática, en consecuencia, su variación originará cambios en la composición florística del bofedal afectando su capacidad de carga animal, ocasionando

en el poblador altoandino dependiente de este ecosistema la disminución de su capacidad productiva ganadera alpaquera, principal sustento económico. El conocimiento de la variabilidad del bofedal permitirá aproximarnos al manejo y conservación, aún considerados vacíos de información.

## **2.2. Antecedentes de investigación**

En el Perú son muy pocos los trabajos relacionados, los pocos trabajos que existen son investigaciones realizadas en Bolivia. El entendimiento de ciertos patrones relacionados a la diversidad vegetal en los ecosistemas altoandinos son muy escasos, los que tienen mayor información son los gradientes altitudinales a diferencia de los latitudinales y de humedad (Herzog, y otros, 2012), existe muy poca información referente a la influencia de la humedad del suelo en la diversidad vegetal en los Andes tropicales (Linares-Palomino, y otros, 2008).

(Soliz, 2011) en el informe final del su trabajo Componente Hidrogeológico del Bofedal del nevado Illimani, La Paz- Bolivia, señala que el objetivo fue generar un mejor conocimiento del funcionamiento del Bofedal Illimani en un sistema hidrogeológico del Bofedal realizado mediante el equipamiento de una red de piezómetros (monitoreo de niveles freáticos) para poder obtener un modelo conceptual de la hidrología del bofedal, del trabajo concluyó que la fluctuación de los niveles piezométricos presentan variaciones estacionales relacionados con la precipitación pluvial, observándose incremento de niveles proveniente de manantiales, del cual recomienda investigar la evolución temporal de la vegetación y su relación con la fluctuación de niveles piezométricos, sumado a ello la necesidad de realizar la modelación hidrológica de la hidrología del bofedal.

(Palabral A. , 2012) en su trabajo denominado "relación de la composición florística y su biomasa subterránea con las variables hidrológicas en bofedales de Sajama" plantea como objetivo relacionar las características morfológicas del sistema radicular y/o biomasa subterránea de las especies dominantes de los bofedales mencionados, con variables hidrológicas de

relevancia en el Parque Nacional Sajama (PNS) ubicado al noroeste de la Cordillera Andina de Bolivia, en los lugares donde la composición y abundancia de la vegetación era similar al área de los piezómetros procedió a realizar evaluaciones de la vegetación, teniendo como resultado que las adaptaciones morfológicas (longitud y grosor de la biomasa subterránea) de las juncáceas *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides*, tienen una tendencia positiva con el nivel piezométrico medio de los bofedales.

Lorini (2013) en su exposición “Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama” en el Simposio: cambio Climático. Una montaña de desafíos desarrollado el 15 y 16 de mayo del 2013 en la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” y Agua Sustentable, el autor plantea como objetivo identificar las relaciones hídricas que se establecen en bofedales y pajonales de dos microcuencas de la cordillera Occidental indagando sobre su potencial de adaptabilidad a los efectos del cambio climático y su importancia para los sistemas de producción, los resultados que muestran son preliminares, señalando que las comparaciones entre piezómetros con diferentes asociaciones vegetales muestran un patrón que merece analizarse donde existen áreas cubiertas por *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides* parecen conservar mejor la humedad en relación con áreas dominadas por plantas de raíces cortas siendo las relaciones hídricas que se estructuran en pajonales muy diferentes a las de bofedales y los flujos subterráneos de agua están enteramente supeditados a la precipitación, recomendando analizar la relación que pueda existir entre asociaciones vegetales y los flujos subterráneos del nivel freático de agua.

Para entender mejor el funcionamiento de un bofedal y los impactos (naturales y antrópicos) en el año 2015 iniciaron un proyecto de monitoreo de parámetros hidrológicos-ecológicos claves en un bofedal en el Santuario Nacional de Ampay, SNA (Apurímac, Perú). El monitoreo consiste de un sistema de instrumentos de medición (manuales y automáticos) tanto para parámetros hidrológicos - climatológicos (caudales, evapotranspiración,

precipitación líquida y sólida, humedad de suelo, nivel freático, temperatura del aire, de la superficie y bajo el suelo) como ecológicos/botánicos (comunidad vegetal y grado de cobertura de cada especie, biomasa vegetal en un total de 96 plots a 1 m<sup>2</sup>, la mitad en excluidores para evitar los impactos generados por el pastoreo). Los parámetros son monitoreados permanentemente (mediciones automáticas) cada dos semanas/mes (mediciones manuales) respectivamente. Los resultados preliminares muestran una fuerte variabilidad estacional en los parámetros hidrológicos-climatológicos y ecológicos/botánicos monitoreados. Destaca la importancia de los flujos de agua y/o caudales subterráneos, especialmente en la época de estío, los cuales no se secan y muy probablemente estén siendo alimentados permanentemente por depósitos naturales subterráneos que se recargan en la época de lluvia. Estos y otros hallazgos preliminares del proyecto de monitoreo muestran la complejidad de los procesos hidrológicos que ocurren en valles con bofedales. Además, su comprensión servirá para definir medidas sostenibles de adaptación a los efectos adversos del cambio climático en los Altos Andes (Baiker, 2017).

Estudios en la ecorregión de la Puna peruana para describir la condición actual de las turberas en términos de su vegetación, características físicas y químicas y estado de perturbación, muestran resultados que sugieren que el espesor de la turba, la materia orgánica y el grado de humificación son buenos indicadores para identificar las turberas en la ecorregión de la Puna, dominados por mezclas de cojines y plantas formadoras de rosetas acaulescentes tales como *Distichia muscoides* Nees y Meyen y *Plantago tubulosa* Decne, caracterizando sitios con pH medio del agua superficial de 6.3, conductividad eléctrica corregida en el rango de 300-1814  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (Salvador, y otros, 2014).

Fuentealba, y otros (2017) en el Parque Nacional Huascarán evaluaron las características hídricas, edáficas y la vegetación de cuatro humedales altoandinos, los resultados en relación con el régimen hídrico presenta tres tipos de humedales (ocasional, estacional y permanente), asimismo

(Fuentealba, y otros, 2017) menciona “existe una relación entre el nivel de la napa freática y la abundancia de vegetación almohadillada, lo que a su vez influye en la densidad aparente y al contenido de materia orgánica en el suelo”

Investigaciones en el Parque Nacional del Huascarán, en dos zonas altas de los Andes tropicales donde, a escala regional, las evaluaciones de la cubierta de la tierra documentan el retroceso de los glaciares y las cantidades cambiantes de cobertura forestal, sus resultados muestran que los patrones heterogéneos de la recesión glacial abren nuevos espacios ecológicos de colonización por las plantas, formando potencialmente nuevos pastizales, matorrales y humedales, señalando que los humedales que quedan en algunas cuencas hidrográficas pueden estar en transición hacia un mayor dominio de las turberas dependientes de la precipitación, en las escalas de tiempo decenales, la recesión de los glaciares probablemente provocará cambios en la cubierta vegetal (Polk, y otros, 2017). Por su parte (Young, y otros, 2016) menciona que las investigaciones futuras deberían evaluar los vínculos y los mecanismos de retroalimentación entre los cambios en la vegetación, los suelos y la hidrología en los paisajes montañosos tropicales.

Valencia y otros (2016) distingue en los bofedales de Oyón en Lima dos grupos de comunidades vegetales, Turbera de *Distichia* y Vegetación Asociada, la primera generalmente ubicada en la parte central de los bofedales que corresponde a las partes más húmedas y con menor pendiente y la segunda comunidad vegetal corresponde a la comunidad transicional al pajonal ubicada generalmente en suelos menos húmedos y con mayor pendiente.



## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Praderas nativas y bofedales**

#### **2.3.1.1. Praderas naturales**

Condori y Choquehuanca (2001) define los pastos naturales como “áreas cubiertas por una vegetación herbácea, predominantemente de gramíneas, ciperáceas y rosáceas, que varían en su composición florística de acuerdo a la humedad del suelo, exposición y características edafológicas como textura y contenido de materia orgánica” (p.48).

#### **Clasificación de praderas naturales**

Teniendo en cuenta la formación vegetal del ecosistema puna, el IGN consideran para el ecosistema puna las siguientes formaciones vegetales (Instituto Geográfico Nacional, 1989), entre los cuales considera a los queñuales, tolares, yaretales y bofedales.

#### **2.3.1.2. Humedales altoandinos**

“Los humedales son sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos, que muestran una enorme diversidad de acuerdo con su origen, localización geográfica, régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2005, p. 69).

Los humedales altoandinos, son ecosistemas hidromórficos que se encuentran por encima de los 3800 msnm, su fuente de agua son los deshielos, aguas superficiales, puquiales y la lluvia, presenta suelos permanentemente húmedos con presencia de turba y materia orgánica que mantiene una vegetación cespertaria siempre verde (Ministerio del Ambiente, 2015).

### **2.3.1.3. Bofedales**

Los bofedales reciben diferentes nombres, “turberas”, “cenegales”. “vegas andinas”, en quechua “Oqhonales” y en aymara “Juhu ayru”, el MINAM tiene una propuesta de definición “Ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los Andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente, con vegetación densa y compacta siempre verde” (MINAM, 2015, p.71).

Lara y Lenis (1996) indican que los bofedales “constituyen comunidades vegetales hidromórficas de estrato bajo, compactas achatadas o abombadas siempre verdes dominadas por caméfitos pulvinados desarrollados sobre suelos orgánicos hidromórficos, cryofibrils, con niveles altos de agua subterránea y escurrimiento superficial permanente, presentan un perfil constituido por una masa compacta y fibrosa de plantas herbáceas vivas y en varios estados de descomposición asociada al material mineral del suelo generalmente de origen volcánico, presenta cierta estratificación aluvio coluvial y está permanentemente saturado, alimentado por aguas que aportan sales solubles, en algunos casos no obstante que el agua está cerca de la superficie todo el año, estos no presentan horizontes gleyzados. Esto sugiere que es debido al movimiento del agua en el suelo y por lo tanto allí no es reductor el ambiente. Además, los suelos presentan un incremento de la acidez en profundidad. En otros casos la reacción es moderadamente alcalina y presenta horizontes gleyzados, la napa freática no es variable como el caso anterior, en la composición botánica interviene *Distichia muscoides* o *Plantago tubulosa* que ocupan considerables extensiones en los bordes de charcos, lagunas, arroyos y depresiones con suelos encharcados prácticamente todo el año. Bajo estas condiciones se dan dos tipos de asociaciones: a) *Plantago tubulosa-Gentiana postrata*, sobre suelos hidromórficos sin sumersión y nivel freático superficial, y b) *Distichia muscoides-Oxychloe andina*, en suelos hidromórficos saturados y nivel

freático con escurrimiento superficial. En invierno estos suelos se mantienen congelados”.

Olivares (1988) definió al bofedal como “una formación pratense siempre verde, que se desarrolla en fondos de quebradas o en valles sobre suelos de turba alcalina que presenta niveles altos de agua subterránea y escurrimientos superficiales permanentes”.

### **Partes de un bofedal**

En un bofedal se puede distinguir tres zonas, la zona central, suelos húmedos con carácter inundable, presenta especies hidromórficas. La otra zona es la intermedia, presenta suelos con presencia de humedad que permite mayor abundancia de gramíneas y leguminosas, la tercera zona es la periférica, se encuentra al borde del bofedal con presencia de *Stipas* y otras (Fiorio, 1996).

### **Clasificación de los Bofedales**

Existen variadas clasificaciones sobre los bofedales, las cuales se mencionan sin ningún orden de prioridad exclusivo, sino indicando las características de clasificación del bofedal.

#### **a. Condición hídrica del bofedal**

Teniendo en cuenta la condición hídrica del bofedal, Troncoso (1982) distingue tres tipos de bofedales

1. Bofedal hídrico asociado a *Deyeuxia crisantha* ubicados sobre suelos turbosos profundos con nivel freático superficial de aproximadamente 5 cm de profundidad.
2. Bofedal hídrico asociado a *Oxichloe andina* y *Distichia muscoides*, presenta suelos de turba profunda (1 m de profundidad) con profundidad freática de 0 a 40 cm.

3. Bofedal méxico asociado a *Carex incurva* y *Werneria pygmaea*, suelos con napa freática con profundidades mayores a 40 cm.

**b. Teniendo en cuenta su función de la composición florística**

(Alzérreca, y otros, 2001) Identificaron tres clases de bofedales por la dominancia de especies, “Clase 1. *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina*, (3.75 UAL/ha/ año de carga animal), Clase 2. *Scirpus* y *Plantago tubulosa* (2.54 UAL/ha/año de carga animal) y Clase 3. *Deyeuxia curvula*, *Plantago rigida* y *Juncus stipulatus* (1.69 UAL/ha/año de carga animal)” (p.86).

**c. . Por la permanencia del agua y niveles de humedad en el bofedal**

Luna (1994) ha denominado a los bofedales por la permanencia del agua y nivel de humedad de dos tipos.

- **Hidromórficos.** Tienen presencia de agua permanente.
- **Mesicos.** Tienen presencia de agua temporal.

**d. Por su Altitud**

(Alzérreca & Lara, 1988) señalan:

- **Altiplánicos.** Están ubicados por debajo de los 4.100 m.s.n.m.
- **Altoandinos.** Están ubicados por encima de los 4.100 m.s.n.m.

**2.3.1.4. Importancia de los bofedales**

Contreras (2014) señala que “la importancia económica y ecológica de los bofedales son poco o nada reconocidas en su verdadera dimensión, la falta de información consistente ha contribuido para esta situación” (p.34). Los bofedales son ecosistemas críticos que albergan especies de flora, fauna y recursos estratégicos para el mantenimiento de los camélidos sudamericanos, principalmente ganadería alpaquera, al mismo tiempo los bofedales son colchones de almacenamiento natural de agua, proveyendo agua a las partes bajas de la cuenca (Ministerio del Ambiente, 2015).

### **2.3.2. Ecología de los bofedales altoandinos**

Los humedales altoandinos ecológicamente presentan una alta biodiversidad de comunidades biológicas estrechamente relacionadas con su entorno físico “determinando la existencia de dinámicas únicas sobre la base de la sustentabilidad temporal que le imprimen los afloramientos de aguas subterráneas definidas por los límites de tolerancia ambiental de las especies” (CEA, 2006).

#### **2.3.2.1. Flora de los bofedales**

##### ***Vegetación y composición florística***

La vegetación de los bofedales forman tapices de los géneros *Distichia* y *Plantago* asociadas a *Carex*, *Deyeuxia*, *Gentiana*, *Werneria*, *Arenaria*, *Hypsela*, en zonas mojadas asociadas a charcos de agua se encuentra *Lachemilla*, *Ranunculus* y entre otros (Alzérreca & Lara, 1988), por su parte Carafa (2009) señaló que “la composición botánica de los bofedales consta de 59.5% de herbáceas o forbias, 12.3% de graminoides o juncaceas, 16.4% de gramíneas y 11.7% de otras especies misceláneas” (p.93).

##### ***Producción forrajera***

La producción forrajera se ve limitada por el sobrepastoreo, existe poca información científica sobre el potencial forrajero del bofedal, debido a que cada bofedal es diferente en composición y abundancias vegetales y características abióticas, facultando la presencia de plantas deseables (alta palatabilidad), seguidas por poco deseables (poco palatables) y las especies indeseables (no palatables) (Florez, 2005).

Si se considera un bofedal en buenas condiciones de manejo y uso, se dice que se encuentra en su máxima expresión forrajera "Clímax" donde “se tiene un rendimiento forrajero de 1,613.07 KgM.S./ha en época de lluvia, en la zona agroecológica de puna seca no se observa marcada predominancia de

una determinada especie en producción de materia seca (MS)” (Condori & Choquehuanca, 2001).

### **2.3.3. Capacidad de carga animal**

#### **2.3.3.1. Capacidad de carga animal y coeficiente de agostadero**

##### **Capacidad de carga animal**

“La Carga animal es la cantidad de animales que utiliza una pradera durante un periodo determinado, que puede ser expresado en Unidad Animal año (UA/año) o su equivalente mes (UA/m) correspondiente a la especie animal que la utiliza” (Miranda, 1990, p.65).

##### **Factores que afectan la carga animal.**

Los efectos de la carga animal sobre el animal y sobre los pastizales lo menciona Luisoni (2010), los efectos sobre el animal se ven reflejado en “los índices reproductivos (% de preñez, entre otros), la condición corporal, los tiempos de recría y engorde, entre otros. La presión de pastoreo afecta el consumo animal (Kg MS/día) y este la ganancia de peso” y el efecto sobre los pastizales se expresan en “las características de productividad y estabilidad de los pastizales. Estas son la composición botánica, la cantidad de forraje disponible, el crecimiento anual, la calidad forrajera, la estructura física de la vegetación (facilidad de cosecha) y otras”.

### **2.3.4. Napa freática en los bofedales**

#### **2.3.4.1. Fuentes de agua en el bofedal**

Ahuamana y Faúndez (2009) señalan las distintas formas en que el agua alimenta al bofedal, los cuales se describen:

**Suministro de agua por acuífero subterráneo.-** En algunas zonas del altiplano, la napa de agua se satura de agua, por lo que esta empieza a aflorar en forma de:

- Vertientes que originan y forman lagunas de agua dulce, a veces junto a lagunas de agua salada.
- Afloramiento de aguas que son canalizadas que, luego de un largo tramo, alimentan lagunas de agua dulce y/o salada.
- Afloramientos de agua difusos, es decir, que no se logra distinguir un lugar preciso por donde surge el agua, pudiendo ser de varios puntos y en muy baja cantidad. Estos tipos de afloramiento, dependiendo de su cantidad, cercanía y aporte de agua, determinarán desde la formación de un bofedal hasta un pajonal hídrico salino (pajonal con aporte permanente de agua con muchas sales).
- Suministro de agua por ascenso capilar (subida de agua por poros) desde el acuífero.- Esto se da cuando el nivel de la napa es muy cercano a la superficie del suelo. Este aporte va a depender mucho del clima, ya que el ascenso del agua a la superficie se va a generar cuando hayan condiciones de temperatura y humedad particulares.

**Suministro de agua por cursos de agua superficiales.-** El aporte de agua estará dado por los ríos superficiales que atraviesan las zonas, generalmente planicies, donde existe el tipo de vegetación que forma a los bofedales. El aporte de agua de estos causes puede ser por inundación o por infiltración lateral (agua que infiltra desde un canal/río hacia sus contados).

#### **2.3.4.2. Napa freática.**

La napa freática, denominada también capa freática, manto freático, napa subterránea, tabla de agua o simplemente freático, en un acuífero libre corresponde al lugar en el que se encuentra el agua subterránea. En éste nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica. Bajo la superficie de la tierra existen napas de agua que pueden estar muy cerca de la superficie e incluso variar de altura según la época del año o las circunstancias climáticas (Esacademic, 2018)

Los bofedales dependen mucho del nivel de la napa de agua y de las precipitaciones de verano, generando un equilibrio que es tolerable por las especies vegetales, tal que estas son capaces de soportar períodos de sequías, pero siempre dentro de ciertos límites (Ahumana & Faúndez, 2009).

La profundidad de la que las plantas de bofedal extraen agua por sus raíces es máxima de 1 metro y medio, y la profundidad en la que hay más raíces es de 1 metro. Por otra parte, el agua puede subir por los poros del suelo, lo que se conoce como “ascenso capilar”, y lo máximo que puede subir son 50 centímetros, o sea medio metro, por lo que, en la práctica, si el nivel freático es más profundo que 1 metro de profundidad, pueden haber problemas con el riego del bofedal. Resulta importante medir a qué profundidad está el nivel freático antes de ver si el bofedal se seca, de manera de registrar en forma regular y por estación cual es la profundidad de la napa freática (CEA, 2011).

#### **2.3.4.3. Disminución del agua en el bofedal**

La escasez hídrica en el bofedal ocasiona que el bofedal pase a convertirse en un pajonal, en el mejor de los casos, o simplemente las especies vegetales empiezan a morir, se puede decir que se ha degradado, lo que implica una pérdida de una fuente de alimentación muy nutritiva para los animales, el que se puede explicar por la disminución en la alimentación o suministro de agua al bofedal, y por lo tanto su posible degradación, generalmente en los bordes de los bofedales las especies mueren cuando el suministro de agua al disminuye en forma importante, ya que se encuentran más alejados de las fuentes de esta, ya sean subterráneas o superficiales, como canales o ríos (Ahumana & Faúndez, 2009).

Se puede determinar que un bofedal recibe menos agua que antes cuando se observa que naturalmente se ha sustituido plantas hidrófitas (plantas que se desarrollan en medios muy húmedos o inundados) por plantas halófitas (especies que crecen en áreas afectadas por sales). En los casos más extremos, se llega finalmente a una salinización del bofedal y a la ausencia de especies vegetales (Ahumana & Faúndez, 2009).



#### **2.3.4.4. Medición de la napa freática**

Ridder (1994) mencionó que “el nivel freático se puede medir mediante un agujero barrenado en el suelo, el nivel de agua en el agujero corresponde con el nivel freático, aquí la presión es igual a la atmosférica” (p.52).

La lámina de la napa freática divide el suelo en dos zonas, la zona superior llamada no saturada y la zona inferior denominada zona saturada, “la presión por encima del nivel freático es menor de la atmosférica también llamada succión capilar, cerca del nivel freático prácticamente todo los capilares del suelo están completamente llenos de agua, pero más arriba el suelo contiene aire” (Ridder, 1994, p.86).

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

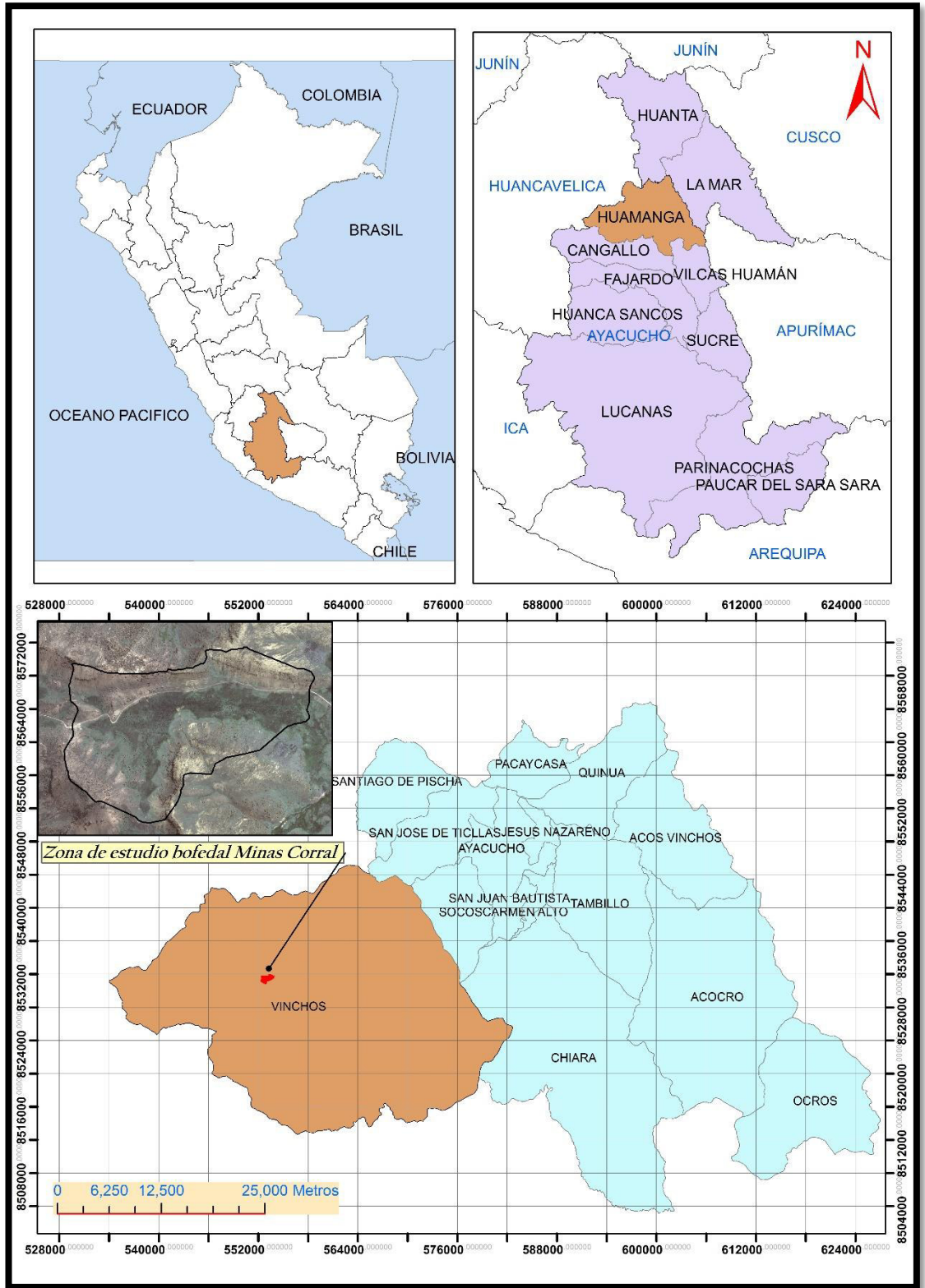
El tipo de investigación es descriptiva correlacional, describe la relación de la profundidad de la napa freática con los tipos de vegetación y la condición de capacidad de carga animal alpaca en el bofedal.

El Diseño de Investigación es un diseño No Experimental Longitudinal. El diseño analiza los cambios mensuales del nivel de la napa freática en un periodo de un año en relación a la vegetación y la capacidad de carga animal alpaca.

### **3.2. Zona de estudio**

La investigación se desarrolló en el bofedal denominado Minas Corral, distrito de Vinchos, Huamanga, Ayacucho (Figura 1).

Para la ubicación del área de estudio se visitó varios bofedales altoandinos de la Microcuenca Apacheta de la cuenca alta del río Cachi, sobre la base de las características del bofedal, tamaño representativo, geomorfología adecuada para generar información hidrogeológica, accesibilidad, seguridad y aceptación de la población para la instalación de los piezómetros, se seleccionó el bofedal denominado Minas Corral ubicado en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga en el departamento de Ayacucho.



**Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho**

### **a. Ubicación política**

Región : Ayacucho  
Departamento : Ayacucho  
Provincia : Huamanga  
Distrito : Vinchos  
Localidad : Minas Corral  
Bofedal : Minas Corral

### **b. Ubicación geográfica**

El bofedal altoandino Minas Corral se encuentra en las coordenadas UTM Datum WGS-84 Zona 18S, referenciales centrales del trabajo de investigación E 553100m y N 8531611m, a una altitud de 4,293 msnm en su punto más bajo (Figura 1).

### **c. Delimitación del área de estudio**

La delimitación del área del bofedal se realizó en campo siguiendo el perímetro del límite del bofedal con un GPS Garmin Oregón 650 con la opción track/camino para luego calcular el área en el software libre QGIS.

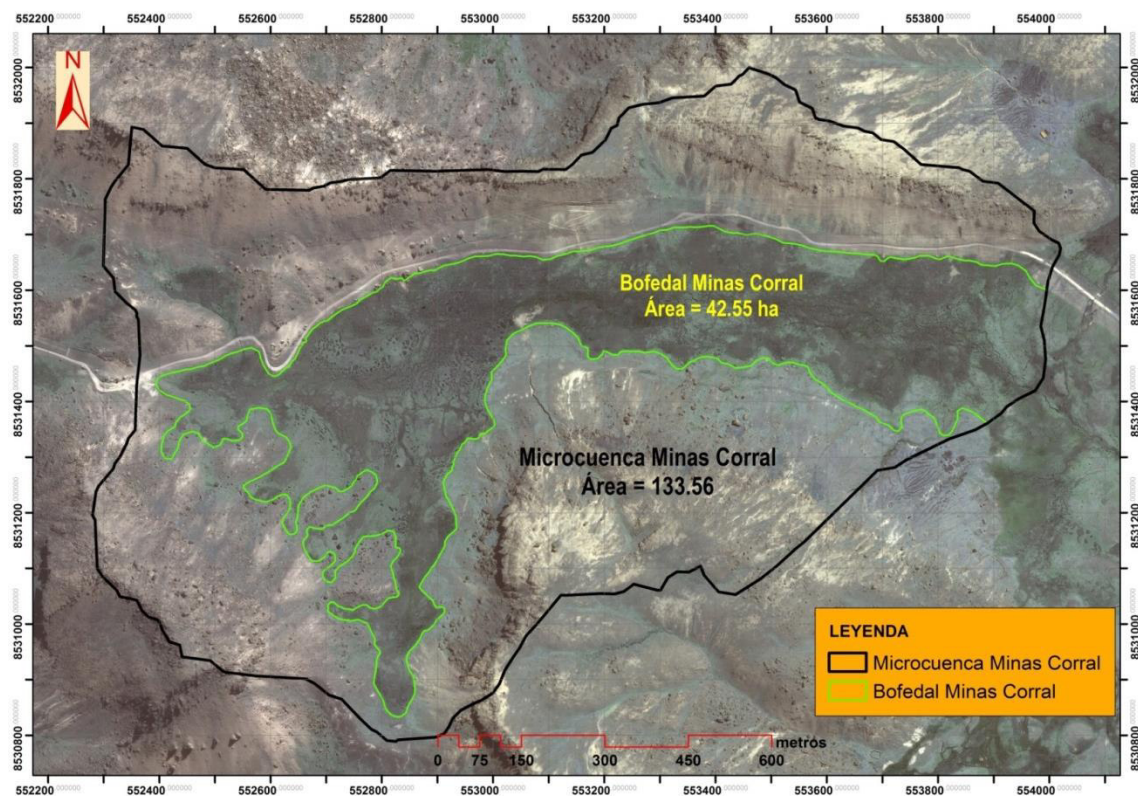
### **d. Descripción del área de estudio**

El bofedal altoandino Minas Corral está ubicado en la región Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Vinchos en las coordenadas UTM Datum WGS-84, Zona 18S, Huso L, E553,100m y N 8531,611m referenciados en la parte media del bofedal del presente trabajo de investigación.

El bofedal Minas Corral tiene un área de 42.55 has (Figura 2), el que se encuentra dentro de la microcuenca Minas Corral con un área de 133.56 has, en su punto más bajo el bofedal registra la altitud de 4293 m.s.n.m. y la parte más alta en el divortium aquarium de 4520 m.s.n.m.

El bofedal de Minas Corral se encuentra en la ecorregión terrestre de puna húmeda en los Andes centrales, en la zona de vida de páramo muy húmedo – Subalpino Subtropical (pmh-SaS), su clima es de Tundra seca de alta

montaña, encontrándose dentro de la Cuenca del Mantaro de la región hidrográfica del Amazonas (Gobierno Regional Ayacucho, 2013).



**Figura 2. Vista satelital del bofedal Minas Corral y de la microcuenca Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

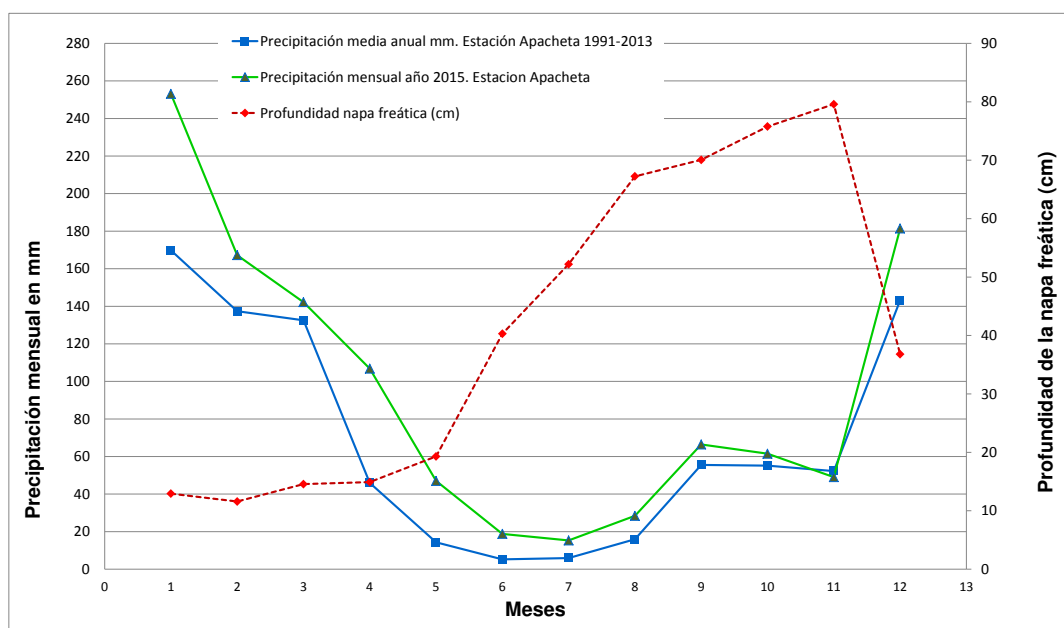
La precipitación media anual que recibe la microcuenca del Apacheta, lugar donde se encuentra el bofedal Minas Corral es de 833.1 mm (media anual del año 1993 al 2013), para el año 2015 la precipitación anual fue de 1137.1 mm de precipitación (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Precipitación registrada por la red hidrometeorológica Apacheta y profundidad de napa freática promedio mensual del bofedal Minas Corral. Vinchos. Ayacucho.**

Meses del año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Precipitación anual
Profundidad napa freática (cm)	12.9	11.6	14.6	14.9	19.3	40.3	52.2	67.2	70.1	75.8	79.6	36.8	
Precipitación media anual mm (1991-2013)	169.8	137.4	132.5	45.9	14.3	5.2	5.9	15.9	55.5	55.2	52.2	143.2	<b>833.1</b>
Precipitación mensual mm (2015)	253.1	167.2	142.2	106.8	47.0	18.8	15.3	28.4	66.4	61.5	49.0	181.4	<b>1137.1</b>

Fuente: Red Hidrometeorológica Apacheta, 1991-2013,2015

En la figura 3 se observa una tendencia de la profundidad de la napa freática y la precipitación mensual, siendo esta inversa, ya que cuanto mayor es la precipitación menor es la profundidad de la napa freática, siendo la precipitación del mes anterior la que se acumula en el suelo, a medida que el suelo se satura de agua el nivel de la napa freática se hace superficial, lo que explicaría la disminución paulatina del nivel de la napa freática en la época de estío condicionada por la baja conductividad hidráulica que presenta el bofedal considerada como lenta a muy lenta por Gómez (2015).



**Figura 3. Profundidad media de la napa freática del bofedal registrados en el 2015 en relación con la precipitación media anual promedio 1991-2013. Fuente: (Red Hidrometeorológica Apacheta, 1991-2013,2015)**

### 3.3. Unidad de análisis

Las unidades de análisis considerados en el presente trabajo de investigación fueron:

#### - Pozas de observación o piezómetros

La unidad de análisis fueron las pozas de observación o piezómetros que permitió en el tubo piezométrico medir la profundidad de la napa freática y determinar el pH y conductividad eléctrica del agua subterránea.

### - Vegetación

La unidad de análisis fue la vegetación medido en una unidad de muestreo de 1 m<sup>2</sup>, donde se determinó la cobertura vegetal y el número de especies.

## 3.4. Metodología

### 3.4.1. Medición de la napa freática

En el bofedal Minas Corral se instalaron 31 piezómetros (puntos de observación) seleccionados al azar (Figura 4), la determinación de los 31 puntos de instalación de los piezómetros se realizó en gabinete con el uso de la extensión libre de ArcGIS 10 Hawth's Analysis Tools con la herramienta de muestreo, el área del bofedal Minas Corral se dividió en grillas de 100 \* 100 m. (52 parcelas, tamaño de la población) con la opción crear cuadrícula vectorial, una vez obtenido los cuadrantes o parcelas con la opción generación de puntos aleatorios se requirió 31 puntos al azar, calculados a partir de una población finita con el uso de la fórmula siguiente tomado de Badii y otros (2008)

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + (Z^2 * p * q)}$$

Donde:

Z= Nivel de confianza (Z=1.96)

p= Porcentaje de la población que tiene el atributo deseado (95%)

q= Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado (3%)

N= Tamaño de la población (N=52)

e= Error de estimación máximo aceptado (0.05)

n= Tamaño de la muestra

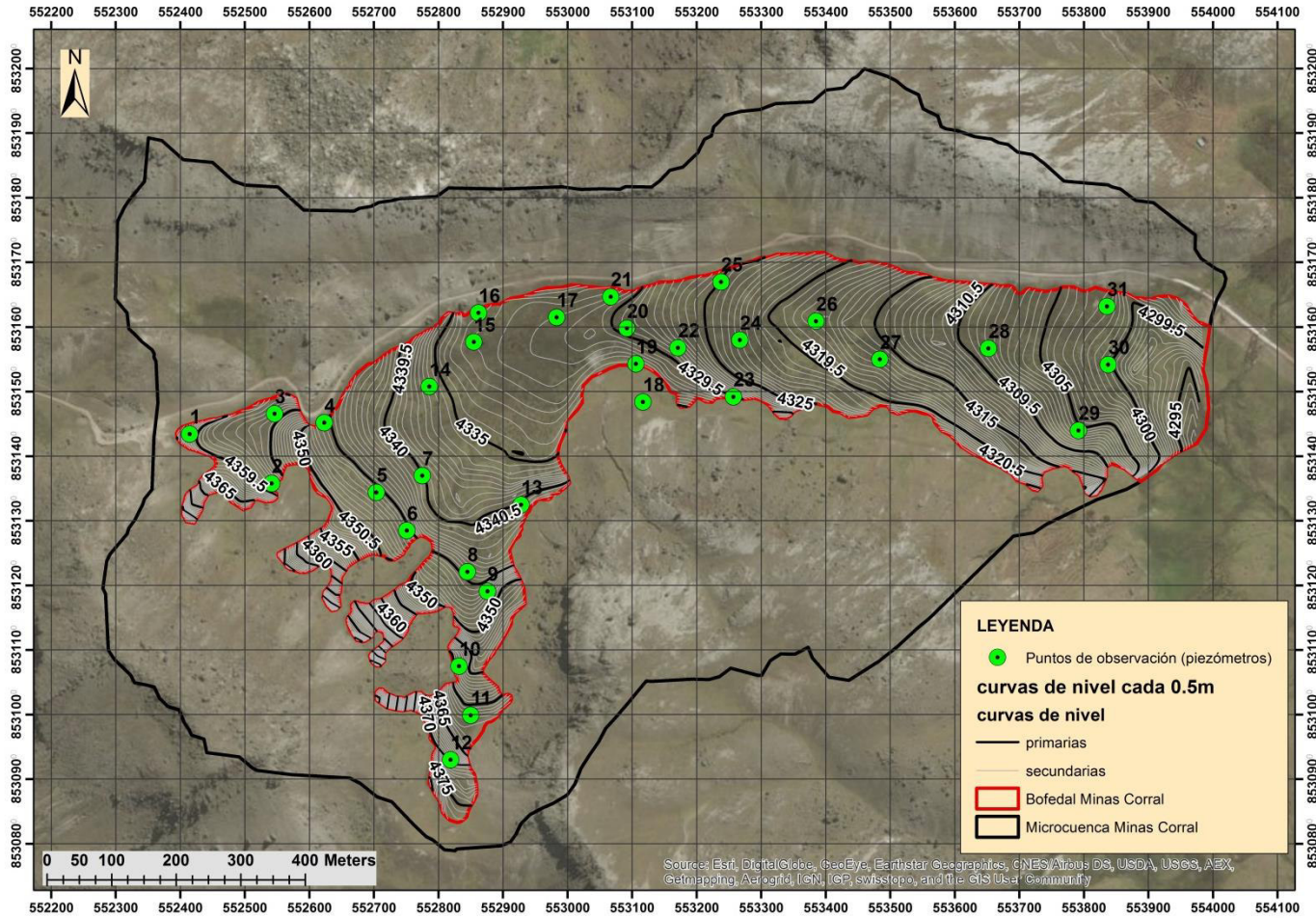
$$n = 52 * 1,96^2 * 0,95 * 0,05 / 0,05^2 * (52 - 1) + (1,96^2 * 0,95 * 0,05) = \mathbf{30.6}$$

Los 31 puntos generados al azar con sus respectivas coordenadas permitieron ubicar en campo los piezómetros, cuyas coordenadas se muestra en el anexo 3. Los piezómetros se ubicaron lo más cercano a los puntos determinados en gabinete teniendo en cuenta las recomendaciones de Santayana (2012) y Cruz (1995).

1. Las muestras (puntos de observación) se ubicaron de forma en que se pueda analizar el sentido del flujo del nivel freático en paralelos al drenaje natural de la zona.
2. La distribución de las muestras se realizó de modo que los puntos formen una red de piezómetros de observación.
3. La ubicación de los piezómetros se realizó evitando la condición de borde lineal, tal como un río, canal, dique, superficie vertical impermeable (pantalla, muro, estrato rocoso).

El número de muestras de 31 piezómetros se asumió por el tamaño del área del bofedal altoandino Minas Corral (42.55 ha), sobre el cual Santayana (2012) recomienda para un tamaño de área bajo estudio de 100 ha un mínimo de 20 puntos de observación (piezómetros), el mínimo recomendado sin interesar el área a evaluar es de 12 puntos de observación, siendo mayor la probabilidad de modelación hidrogeológica (Montoya, 2013), (Santayana, 2012) y (Cruz, 1995).





**Figura 4. Distribución de los 31 piezómetros en relación con las curvas de nivel del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho. Se observa que el piezómetro 12 se encuentra a mayor altura y el piezómetro 30 a menor altura.**

La medición del nivel freático se realizó en los puntos de observación donde se instalaron los piezómetros con un sensor denominado freatómetro BLT (medidor de nivel de agua), las características del piezómetro se describen en el anexo 01.

El muestreo de la napa freática fue una vez por mes durante el período de un año, de enero a diciembre del 2015.

### ***3.4.2. Medición de los parámetros del agua***

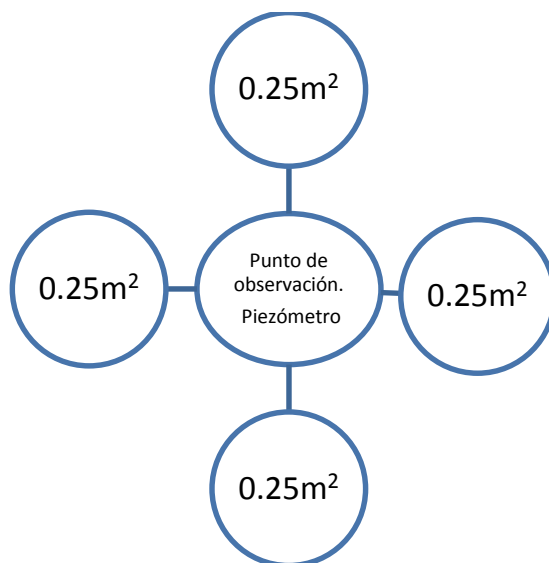
Las características químicas de pH y conductividad Eléctrica (CE) del agua subterránea fueron determinadas directamente en cada piezómetro (punto de observación) con un medidor multiparamétrico portátil Hanna modelo HI 9829 con porta sonda multisensor.

### ***3.4.3. Evaluación de la vegetación***

Las muestras para la vegetación fueron tomadas en cada punto de observación (piezómetros) siendo su equivalente 31 unidades muestrales, cada unidad muestral evaluada fue de 1m<sup>2</sup>, área recomendada para describir las comunidades vegetales cespetarias (Matteucci & Colma, 1982).

La unidad muestral de 1m<sup>2</sup> fue dividido en 4 sub muestras de 0.25m<sup>2</sup> (0.5m \* 0.5m) ubicados en forma de cruz en el piezómetro a una distancia de 1 m lineal con respecto a los piezómetros (puntos de observación) (Figura 5).

El muestreo de la vegetación se desarrolló en la época de lluvia en los meses de febrero a marzo del 2015.



**Figura 5. Disposición de la unidad muestral 1m<sup>2</sup> de la vegetación con sus sub unidades muestrales de 0.25m<sup>2</sup>**

La evaluación de la vegetación consistió en determinar la composición florística, la cobertura vegetal y la agrupación de clúster o conglomerados sobre la base de la composición y cobertura vegetal, los procedimientos utilizados se describe.

Para la determinación de la composición florística (inventario de las especies) las plantas fueron identificadas con el apoyo de dos especialistas en flora (Pablo Najarro Cerón y Dimas Quintanilla Melgar), las especies herborizadas fueron conservadas en el Herbario Huamangensis de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

La determinación de la cobertura vegetal se realizó por el “Método de estimación directa con cuadrante” (Condori & Choquehuanca, 2001), consistió en la observación directa del tapiz de la cobertura vegetal del bofedal, la unidad muestral 1m<sup>2</sup> (4 sub unidades muestrales de 0.25m<sup>2</sup>) representa el 100% cuando existe un tapiz sin presencia de piedras o áreas desnudas, una vez realizado el inventario de todas las especies, se procedió a darle categorías de cobertura a cada especie en toda el área inventariada asignándole un

porcentaje según la abundancia expresada en su cobertura independientemente del número de individuos.

La determinación de los conglomerados se realizó por el método WARD calculado con el programa SPSS versión 21.0 a partir de la cobertura vegetal de las especies, el método es uno de los más utilizados en la práctica ya que posee casi todas las ventajas del método de las K-medias y suele ser más discriminativo en la determinación de los niveles de agrupación con el objetivo de encontrar en cada etapa aquellos dos clusters cuya unión proporcione el menor incremento en la suma total de errores, (Muñuzuri & Lara, 2014).

La diversidad vegetal se determinó mediante el índice de riqueza específica (S) que corresponde al número de especies y con los datos de presencia y ausencia de la composición florística se calculó el índice de similitud de Jaccard para las formaciones vegetales del bofedal con el programa PAST versión 3.18 (Hammer, y otros, 2001).

- Índice de similitud de Jaccard =  $d_{jk} = M / (M + N)$

Donde:

M para el número de coincidencias y N para el número total de columnas con presencia en una sola fila.

#### **3.4.4. Determinación de la capacidad de carga animal alpaca**

La capacidad de carga animal alpaca se estableció teniendo en cuenta la Unidad Animal alpaca (UA alpaca) por ser la principal actividad económica en los bofedales.

La condición del bofedal se determinó en base a la información de la composición florística del bofedal teniendo en cuenta el porcentaje de la cobertura vegetal en relación al número de unidades muestrales que presenta la especie y el grado de palatabilidad o deseabilidad de las especies vegetales

del bofedal, el grado de palatabilidad de las especies fueron tomados de (Macurí, 2017), (Alegría, 2013) y (Siguyro, 2008).

En el anexo 4 se muestran las especies identificadas en el bofedal Minas Corral con su cobertura vegetal y el grado de palatabilidad.

Para la determinación de la Unidad Animal alpaca se utilizó la siguiente fórmula que permite determinar la condición del bofedal (Florez, 2005), sobre la base de la condición animal se determina la carga animal recomendada para un tipo de condición del pastizal.

$$\text{Puntaje (0 a 100 \%)} = 0.5 (\% \text{ D}) + 0.2 (\% \text{ IF}) + 0.2 (\% \text{ COB}) + 0.1 (\% \text{ IV})$$

Dónde:

**%D** = Porcentaje de especies decrecientes o palatables

**%IF** = Porcentaje de Índice Forrajero (especies palatables o decrecientes + especies poco palatables o acrecentantes)

**% COB** = Porcentaje de Cobertura vegetal (suelo cubierto por vegetación (D+PD+I) y /o hojarasca-mantillo)

**%IV** = Porcentaje de Índice de Vigor a altura de la planta clave, expresado en porcentaje, con respecto al estado climax de la misma especie.

La “capacidad de carga animal para el pastoreo de las alpacas por hectárea/año se estableció con el puntaje obtenido para el bofedal, sobre el cual se estable la condición del bofedal determinándose la carga animal recomendada” (Florez, 2005) (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Carga animal recomendada por condición de pastizal nativo**

<b>Condición</b>	<b>Puntaje %</b>	<b>Ovinos 0.20 U.A.</b>	<b>Alpacas 0.30 U.A.</b>	<b>Vicuñas 0.19 U.A.</b>	<b>Vacunos 1.0 U.A.</b>
Excelente	79-100	4.0	2.7	4.44	1.0
Bueno	54-78	3.0	2.0	3.33	0.75
Regular	37-53	1.5	1.0	1.65	0.38
Pobre	23-36	0.5	0.33	0.55	0.13
Muy pobre	0-22	0.25	0.17	0.28	0.07

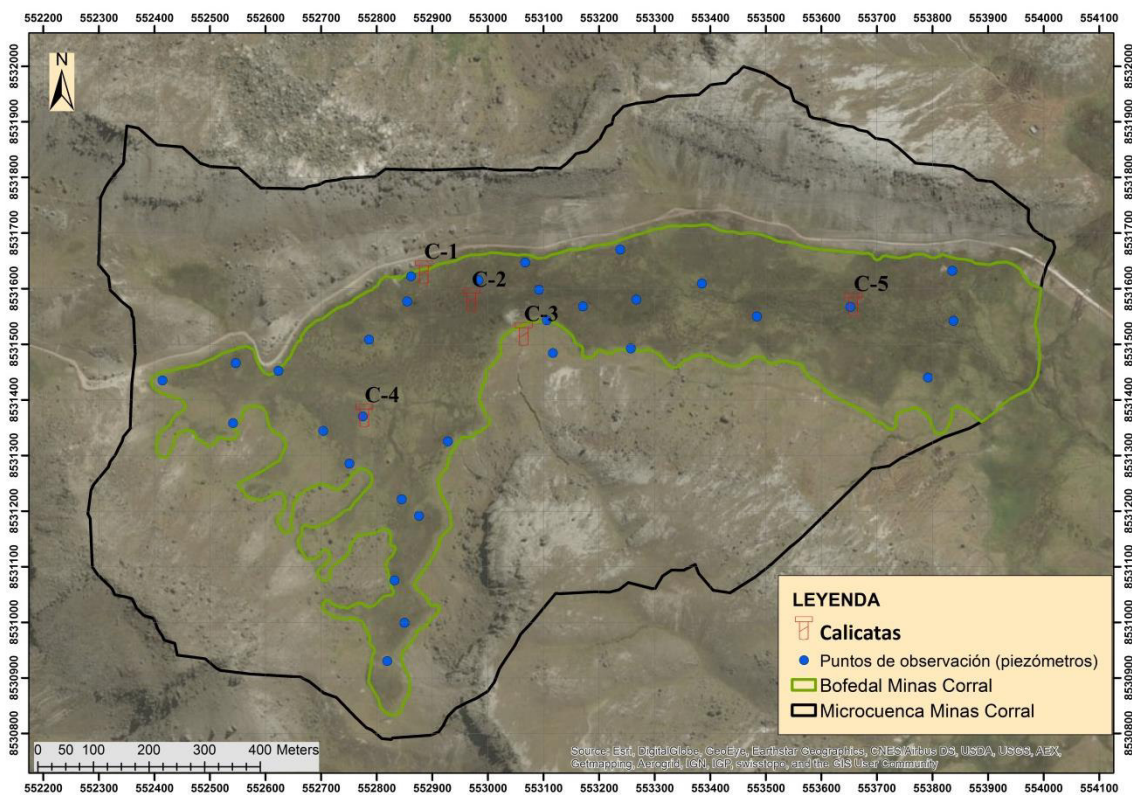
Fuente: Florez y Malpartida, 1987, tomado de Florez (2005)

Para calcular la capacidad de carga para los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral, se calculó sobre la base del puntaje hallado en la condición del bofedal con relación al rendimiento más alto que pudiera obtener un bofedal, siendo la “capacidad de carga estimada promedio de 3.7 Unidad Animal alpaca/ha/año que representa el 100% del puntaje de la condición del bofedal” (Gennin & Alzérreca, 2006).

### **3.4.5. Determinación de las características del suelo**

La determinación de las características del suelo del bofedal se realizó en cinco calicatas en el bofedal (Figura 6), la ubicación de las 5 calicatas se realizó siguiendo el eje transversal y longitudinal en la parte media del bofedal, teniendo en consideración la disposición de los puntos de observación del nivel freático y los tipos de vegetación identificados para el bofedal, el número de calicatas estuvo limitado a la disponibilidad económica para la determinación de las características del suelo.

En la calicata a partir de los 10 cm de la superficie del suelo se tomó 1 kg de suelo cada 20cm hasta llegar a la napa freática. Las muestras de suelo previo etiquetado fueron trasladadas al laboratorio INGEOTECON EIRL.



**Figura 6. Distribución de las 5 calicatas con sus respectivas coordenadas UTM en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Las características físicas del suelo fueron determinados por el laboratorio de la Empresa INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES EIRL, empresa dedicada al estudio de mecánica de suelos, para cada característica a evaluarse se siguió la metodología propuesta (Cuadro 3), los cuales se describen en el anexo 5.

**Cuadro 3. Métodos de análisis utilizados para determinar las características del suelo del bofedal Minas Corral.**

<b>Característica física del suelo</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Método de análisis</b>
<b>Textura</b>	% arena, limo y arcilla	Método del hidrómetro de Bouyoucos
<b>Materia orgánica</b>	%	Método de Walkley y Black
<b>Humedad gravimétrica</b>	%	Secado en estufa
<b>Densidad aparente</b>	(tn/m <sup>3</sup> ),	método de la pararafina
<b>Gravedad específica</b>	-	Picnómetro de agua
<b>Porosidad</b>	%	Cálculos
<b>Saturación relativa</b>	%	Cálculos
<b>Permeabilidad del suelo</b>	cm/s	Método Moulton (1980)

#### **3.4.6. Análisis estadístico de la información**

Para analizar los registros de nivel freático en los diferentes meses del año en relación al tipo de vegetación y capacidad de carga animal entre los distintos sitios de estudio (puntos de observación) se realizó por la técnica estadística denominada árbol de decisiones de CHAID, modelo de clasificación basado en árboles y clasifica casos en grupos con un nivel de significancia de 0.05 realizados por medio del programa SPSS Statistics versión 21.0 (IBM, 2013), el modelo de clasificación basado en árboles se realizó con los meses del año 2015 en relación a la profundidad de la napa freática de los 31 piezómetros.

Los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, conductividad eléctrica y pH del agua de la napa freática, Unida Animal Alpaca sometidos a la prueba de normalidad con el estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov (para datos mayores a 50) con la corrección de Lilliefors presenta un



nivel de significación igual a 0,000 ([Anexo 6](#)), por lo tanto los datos no presentan una distribución normal y son no paramétricos.

La contrastación de hipótesis se realizó con pruebas no paramétricas, se utilizó la prueba de Kruskal–Wallis, método alternativo al Análisis de Varianza (ANOVA) y el análisis de correlación de rho de Spearman (r).

#### Prueba de Kruskal-Wallis

Con el objeto de demostrar las diferencias estadísticas de la profundidad de la napa freática en los tipos de vegetación y carga animal Unidad Animal alpaca se empleó la prueba estadística de Kruskal-Wallis, la única condición que requiere la prueba es la aleatoriedad en la obtención de las muestras y su independencia (datos no apareados) que permite probar la significación de las hipótesis (Juárez, y otros, 2002).

La Prueba de Kruskal – Wallis es un método no paramétrico que sirve para comparar tres o más grupos independientes al contrastar más de dos medianas de un determinado factor (variable independiente o explicativa) que influyen en los valores de una variable dependiente o de respuesta, para la presente investigación la variable independiente es la profundidad de la napa freática y las variables dependientes o de respuesta son los tipos de vegetación y la condición de capacidad de carga animal clasificadas como variable cualitativa, la prueba se realizó con el estadístico de Chi-cuadrado  $X^2$ , a un nivel de significación de  $\alpha = 0.05$ , los cuales fueron determinados con el programa SPSS Statistics versión 21.0 (IBM, 2013). Si el valor p es inferior a 0.05, existen diferencias significativas entre las muestras y al menos una es diferente se realizaron comparaciones post-hoc por parejas con test de Dunn para la determinar entre que parejas se encuentra la diferencia.

#### Análisis de correlación

El análisis de correlación mide la fuerza de asociación o relación entre dos variables y el sentido de dicha asociación. Con el objeto de establecer y

describir relaciones (asociaciones) entre la profundidad de la napa freática, la vegetación, la condición de carga animal, los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática con los tipos de vegetación se empleó la prueba estadística de Correlación de Spearman a fin de determinar el Coeficiente Rho de Spearman ( $r$ ), los valores de  $r$  indican la magnitud de la relación encontrada entre dos variables y el sentido de su relación (positivo o negativo), estos valores oscilan entre -1 hasta 1, cuando  $r=0$ , no existe una correlación lineal entre las variables, si  $r$  adquiere un valor diferente,  $0 < r < 1$  existe una correlación lineal positiva, si es  $-1 < r < 0$  se dice que existe una correlación lineal negativa, “llamada relación inversa, cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante” (Juárez, y otros, 2002).

La Correlación no paramétrica de  $r$  de Spearman se determinó con el programa SPSS Statistics versión 21.0 (IBM, 2013) a un nivel de significación de  $\alpha = 0.05$ . Si el valor de probabilidad asociado a la correlación “es menor o igual que 0.05 entonces, se afirma que la asociación entre las dos variables es significativa. Si es mayor que 0.05 entonces, se afirma que la asociación entre las dos variables no es significativa” (Juárez, y otros, 2002).

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados se expresan en cuadros y figuras elaborados sobre la base de los datos recogidos en campo y analizados en gabinete apoyados por análisis estadísticos que sustentan la investigación.

### **4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados**

Los resultados de la profundidad de la napa freática, vegetación y capacidad de carga animal expresan que existe relación entre la profundidad de la napa freática con la vegetación y la capacidad de carga animal alpaca en el bofedal altoandino Minas Corral, Vinchos, Ayacucho, tal como se evidencian en la prueba de hipótesis.

Los valores de la profundidad de la napa freática evidencian una variabilidad mensual y por épocas durante el año 2015 (Figura 20) manifestando que tiene una relación con los tipos de vegetación hidromórfica, vegetación mésica y vegetación de borde identificados en el bofedal Minas Corral (Figura 22)

Luego de determinar la existencia de asociación entre las variables por la Correlación de Spearman, y al no cumplir los datos una distribución normal (Anexo 6) no se realizó la correlación de Pearson, en consecuencia el análisis de regresión lineal, por lo tanto, no se puede predecir el cambio del valor de una variable con respecto a la otra y la determinación de las variables causa –

efecto, lo que si se demuestra es que las variables están claramente relacionadas.

En el bofedal Minas Corral se encontraron 85 especies de flora, la misma que se considera como riqueza específica, siendo relativamente un valor alto a los encontrados en otras investigaciones; Alzérreca y otros (2001) reportan 44 especies para bofedales de Bolivia, por su parte Loza y otros (2015) encontraron 63 especies para 20 bofedales (>4400 m.s.n.m.) en la cordillera Real (Bolivia), para los bofedales del Perú Montenegro y otros (2017) en los bofedales de Milloc, Carampoma, Huarochiri – Lima reportan 64 especies, además señalan que el registro se encuentra dentro de los valores más altos del rango reportado en otras localidades del país, por su parte Fuentealba y otros (2017) reportan para cuatro bofedales en Huaraz una riqueza específica de 25 a 37 especies. Por su parte Valencia y otros (2016) reporta 104 especies para el bofedal de Oyón en Lima, el número de especies que reporta son los más altos a los reportados en la presente investigación y de otros investigadores.

Los resultados muestran que la riqueza de especies es relativa a cada bofedal dependiendo en gran medida del tamaño del área y la altitud, en ese sentido, el bofedal Minas Corral tiene un área de 42.55 ha, además, su mayor riqueza específica obedece a la evaluación realizada en los bordes del bofedal que se caracteriza por presentar *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*, especies propias que caracterizan al bofedal, consideradas como especies típicas de zonas más áridas que limitan con el bofedal (Arely & Ariel, 2014). La alta heterogeneidad vegetal de la riqueza de especie se ve incrementada a medida que se aleja de la parte central del bofedal siguiendo una línea transversal hacia los bordes del bofedal Minas Corral.

Los Andes centrales desde Ecuador a Bolivia presentan una distribución asimétrica de la precipitación que conlleva a una distribución y composición

vegetal diferente, no siendo ajena a ello los bofedales, Valencia y otros (2016) reportan en un análisis a gran escala una clara separación de los grupos occidental, central y oriental de los Andes sobre la base de su composición vegetal, donde existen variaciones micro y macro climática, el hecho de encontrarse en puna húmeda al ser comparadas con las de puna subhúmeda y puna seca, en definitiva, se encuentran variaciones de riqueza y abundancia de especies de plantas con formaciones de fisonomía los que se encuentran relacionados con patrones de flujo de agua como en el caso del bofedal, estas variaciones del flujo de agua generan la variación de la composición florística en diferentes zonas del bofedal. En el bofedal se observan áreas con mayor inundación con espacios pequeños facultados por la presencia de las pozas con aguas superficiales que condiciona la presencia de especies diferentes a las de sitios que no presentan dicha característica, constituyendo sub unidades de vegetación con mayor abundancia de *Plantago* y *Calamagrostis* siendo el tipo de asociación *Plantaginetum-Calamagrostietum*, así como la presencia de *Distichia* y *Calamagrostis* de asociación *Ditichetum-Calamagrostietum* (Ministerio del Ambiente, 2015).

Con base en lo mencionado se puede afirmar que en el bofedal Minas Corral se pueden identificar diferentes tipos de sub unidades de asociación, *Ditichetum-Calamagrostietum* que se encuentra cercanas a cuerpos de agua, sitios inundados o corrientes, mientras que *Plantaginetum-Calamagrostietum* se encuentran alejadas a los cuerpos de agua, en cualquiera de los casos es parte de un tipo de vegetación o formación vegetal que presenta especies indicadoras con diferente abundancia, siendo la variación en la composición de las especies entre diferentes disturbios y categorías topográficas las que indican las posibles trayectorias de cambio en composición de especies (Benavides, 2014).

Cada bofedal presenta características particulares en cuanto a la composición y estructura vegetal (Gennin & Alzérreca, 2006), (Fuentealba, y otros, 2017), en consecuencia, cada bofedal es diferente en composición y abundancia, sin

embargo, su dinámica y funcionamiento es la misma, todas están relacionadas principalmente a flujos de agua y el tipo de suelo que por lo general contiene altos porcentajes de materia orgánica y turba en descomposición, a ello se adicionan otros factores relacionados con las formaciones vegetales como la pendiente del terreno, la cantidad de caudal de agua, las cualidades físicas y químicas del agua (James, 2005), variando en su composición botánica en función de la ubicación altitudinal, cantidad, calidad y “permanencia de agua, época, contenido de sales tanto en el suelo como en el agua, pastoreo y manejo del bofedal” (Alzérreca, y otros, 2001), en consecuencia cada bofedal es característico en composición botánica con especies comunes y únicas entre bofedales, Oyague y Maldonado (2014) señalan que las turberas son hábitats clave con su propia estructura, dinámica e interacciones y sirven como puntos importantes de biodiversidad dentro de los Altos Andes.

La dinámica ecológica de un bofedal se relaciona con los componentes agua-suelo-vegetación, donde la respuesta de la interacción agua y suelo condicionan un tipo de formación vegetal, en el bofedal Minas Corral sobre la base de la composición y abundancia de las especies se evidencia diferencias ecológicas caracterizadas por la presencia de tres tipos de vegetación o formación vegetal a los que se ha denominado vegetación hidromórfica, vegetación méstica y vegetación de borde por su relación con la humedad del suelo tal como lo reporta (Fiorio, 1996); “en un bofedal se distinguen tres zonas o estratos, la primera la más húmeda con características hidromórficas, la segunda llamada intermedia y la tercera la periférica, que se encuentra influenciada por *Stipa* y especies de estepa”, coincidiendo con lo afirmado por (Alzérreca, y otros, 2001) distinguen tres componentes; hídrico, edáfico y vegetación con tres grandes unidades, bofedal méstico, bofedal hidromórfico y praderas a secano con cojines, caracterizadas por especies dominantes y exclusivas con diferente cobertura vegetal relativa y composición botánica.

La presencia de tres tipos de vegetación, vegetación hidromórfica, vegetación méstica y vegetación de borde determinados en el bofedal minas Corral coincide con los reportados por Valencia y otros (2016) quienes identificaron dos comunidades vegetales: Turbera de *Distichia* y Vegetación Asociada. La Turbera de *Distichia* al igual que los resultados de la presente investigación se relaciona con los tipos de vegetación hidromórfica y méstica, quienes estadísticamente son similares (Figura 8), este tipo de vegetación se encuentra en suelos más húmedos y con menor altitud del bofedal a diferencia de la vegetación de borde, que coincide con la vegetación Asociada reportada por Valencia y otros (2016), esta vegetación está presente en suelos más secos y con mayores pendientes (Figura 29).

Un bofedal mantiene vegetación siempre verde durante todo el año, esta vegetación se encuentra en la zona hidromórfica, algunas zonas del bofedal tienden a disminuir en su verdor caracterizando a un tipo de vegetación méstica y vegetación de borde, esta última se encuentra en la zona de ecotono bofedal - pajonal de puna. Las especies comunes que se encuentran en los tres tipos de vegetación y que caracterizan a un bofedal son *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa*, especies que presentan mayor dominancia formando un tapiz (Alzérreca, y otros, 2001) (Fuentealba, y otros, 2017), por su parte Muñoz y otros (2014) plantean “estas especies fundadoras influyen sobre el ambiente biótico y abiótico de las comunidades de plantas que habitan en los cojines”. De acuerdo con lo hallado en el bofedal Minas Corral, las especies dominantes del bofedal son: *Plantago tubulosa*, *Distichia muscoides*, *Hypsela reniformes*, *Hypochaeris taraxacoides*, *Hypochaeris sessiflora*, *Aciachne pulvinata*, *Plantago rigida*, *Lachemilla barbata*, quienes presentan mayor dominancia con respecto a las demás especies. Cada tipo de vegetación identificado en el bofedal Minas Corral está representado por ciertas especies que le son propias y de mayor dominancia, tal es el caso de que las especies *Bartsia difundio*, *Festuca rigescens*, *Gentianella dolichopoda*, *Isoetes andicola*, *Muhlenbergia ligularis*,

*Novenia acaulis* y *Werneria caespitosa* son típicas de la vegetación hidromórfica, *Castilleja pumila* y *Peperomia andina* caracterizan a la vegetación mélica, mientras que un mayor número de especies son típicas de la vegetación de borde, como *Oxalis sp. cf oreocharis*, *Azorella diapensioides*, *Cerastium consanguineum*, *Ranunculus peruvianus*, *Trifolium repens* y *Belloa longifolia* como las más abundantes en el bofedal Minas Corral.

Los tipos de vegetación hidromórfica, vegetación mélica y la vegetación de borde identificados en el bofedal Minas Corral muestran valores diferentes de riqueza de especies, siendo menor los valores en las zonas que registran mayor humedad, es así que la vegetación hidromórfica y vegetación mélica presentan 56 y 46 especies (riqueza específica) respectivamente, en contraste, las zonas de menor humedad registran una mayor riqueza específica de 64 especies, los valores reportados en el presente trabajo de investigación son relativamente mayores a los reportados por (Fuentealba, y otros, 2017), coinciden que los sitios ocasionales o poco húmedos registran valores más altos de riqueza de especies con respecto a los sitios con inundación permanente. Por otro lado, también resalta la existencia de una relación inversa entre la profundidad de la napa freática y la riqueza específica, a mayor profundidad de la napa freática menor es la riqueza de especies.

La propuesta de que los bofedales presentan formaciones vegetales diferenciables por su composición y abundancia de especies se refuerza con el trabajo de (Maldonado, y otros, 2017) quienes señalan sobre los bofedales del área de influencia del gasoducto de PERU LNG en las regiones de Ayacucho y Huancavelica, están conformados por comunidades vegetales diferentes y además de los efectos asociados al gasoducto y a las actividades de restauración, influyen otros factores como la ganadería, infraestructura (carreteras), la variabilidad interanual en las precipitaciones, entre otros, la respuesta de estas acciones se manifiesta en la variabilidad de la composición vegetal, cobertura, número de especies, diversidad e indicadores de humedad.



En bofedales poco alterados y con baja densidad de población de pastoreo se puede indicar que refleja el estado clímax ecológico porque expresa su máxima producción forrajera. Hay características del terreno tales como la pendiente, la profundidad y humedad del suelo, o el contenido en nutrientes, entre otros a las que son muy sensibles algunas especies, que resultan, por tanto, indicadoras de estas condiciones (Condori & Choquehuanca, 2001).

En el bofedal Minas Corral, el que nos permite asumir que los bofedales no son uniformes en riqueza de especies, composición y cobertura vegetal, muestran variabilidad en composición y abundancia de las especies, constituyendo asociaciones o tipos de vegetación diferenciados fisonómicamente condicionados por la profundidad de la napa freática, coincidiendo con lo afirmado por Fuentealba y otros (2017), Benavides, (2014) y Håkan y Jelum (2013) quienes señalan que el nivel de la napa freática está relacionado con el funcionamiento del humedal. Se evidencia estadísticamente que las profundidades de la napa freática en los lugares con vegetación hidromórfica y vegetación méstica, son similares, presentando valores medios de profundidad de napa freática de 15.00 y 22.50 cm respectivamente, siendo a la vez diferente a la profundidad de la napa freática de la vegetación de borde que presenta una profundidad media de 65.50 cm, lo hallado explica la presencia de especies únicas para estos tipos de vegetación. Es por ello por lo que se afirma que la profundidad de la napa freática caracteriza un tipo de vegetación, a menor profundidad de la napa freática se evidencia la vegetación hidromórfica y méstica y a mayor profundidad la vegetación de borde.

Al correlacionar la profundidad de la napa freática con la riqueza de especies ([Cuadro 5](#)), se observa la existencia de una correlación lineal significativa positiva ( $r_s=0,363$ ,  $p<0.05$ ), por lo que se puede afirmar que cuanto más superficial es la napa freática menor es la riqueza de especies y su diversidad, siendo mayor la riqueza de especies y su diversidad en profundidades mayores de la napa freática, la humedad condiciona la presencia de ciertas especies

hidromórficas que por su tolerancia a la humedad son las más dominantes, a diferencia de la vegetación de borde que presenta menor dominancia de especies. En las formaciones vegetales hidromórficas se observa la existencia de una mayor dominancia de especies palatables para el ganado alpaquero con mayor productividad forrajera, registrando mayores valores de capacidad de carga (2.86 UA alpaca ha/año), mientras que en la vegetación de borde existe una mayor diversidad con menor dominancia y valores más bajos de capacidad de carga alpaca (2.52 UA alpaca ha/año), en consecuencia, se tiene una relación inversa, a mayor diversidad de especies vegetales menor capacidad de carga y mayor profundidad de la napa freática ( $r=-0,251$ ,  $p<0.05$ ) (Cuadro 4). La capacidad de carga Unida Animal alpaca obedece a la composición botánica, de manera particular a la presencia de especies palatales con mayor abundancia que se registran a menor profundidad de la napa freática facultando mayor capacidad de carga animal alpaca ( $n=372$ ;  $X^2=28.203$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ )) (Figura 9), las comparaciones múltiples evidencian que la profundidad de la napa freática es similar en la condición UAalpaca ha/año de 2.60 (vegetación méstica) y 2.86 (vegetación hidromórfica) con profundidades de napa freática de 18.50 cm y 15.50 cm respectivamente, siendo estadísticamente diferente a la UAalpaca 2.52 UAalpaca/ha/año (vegetación de borde) que registra profundidades medias de napa freática de 62.00 cm, los resultados nos permiten asumir que el bofedal como unidad no muestra valores similares de capacidad de carga, por lo tanto, la evaluación de la pastura de los bofedales se debe establecer por tipos de vegetación identificados, más aun considerando que la dinámica de pastoreo se desarrolla en un ambiente comunal de superficie limitada e íntimamente relacionada con la cantidad de animales que pastorean en el bofedal (carga animal) y “la cantidad de animales que el bofedal puede soportar sin que la vegetación sea dañada (capacidad de carga)” (Carafa, 2009)

Los valores de capacidad de carga animal del bofedal Minas Corral muestra valores de 2.5 a 2.9 UAalpaca/ha/año (Cuadro 10) que obedece al grado de utilización del bofedal, los valores de capacidad de carga animal permiten asumir que la condición del bofedal es buena, siendo los valores mayores para la vegetación hidromórfica, seguida por la mésica y menor para la vegetación de borde, siendo concordantes con los mencionados por Gennin y Alzérreca (2006) quienes reportan rendimientos en general, “los datos tienen un amplio rango de variación desde 750 hasta 3.636 kg MS/ha, con una capacidad de carga estimada promedio de 3.7 (2.0-5.5) unidades alpaca de 50 kg PV/año”, siendo los bofedales hidromórficos los que presentan mayores rendimientos en comparación a los mésicos. La capacidad de carga animal es variable según a cada bofedal, condición de uso y manejo, determinados por su composición florística de alto valor agrostológico para la alpaca que va disminuyendo la calidad forrajera y nutritiva por el sobrepastoreo, tornándose contraproducente por el abuso que se comete pastoreando de enero a enero (Alzérreca, y otros, 2001), cada bofedal es particular, variando dependiendo de la composición botánica sujeto a la presencia de especies con alto valor forrajero para la alpaca, en gran medida se puede mejorar la capacidad de carga con el manejo de los pastizales nativos con la finalidad de mejorar el estado de salud del bofedal, “corrigiendo aquellos aspectos de orden abiótico (erosión del suelo, calidad de agua, pérdida de materia orgánica, entre otros) a otro en el cual solo prevalecen problemas de manejo (sobrepastoreo, exceso de carga, pérdida de diversidad)” (Flores E. , 2014), otro aspecto importante es “incluir el aspecto antropogénico del uso de los bofedales por las poblaciones locales y las posibles alteraciones ocasionadas por el cambio climático” (Dangles, y otros, 2014), siendo necesario incrementar especies con valor forrajero alto de “vigor muy por debajo de las condiciones óptimas de desarrollo, siendo mucho más compleja la situación de los pastizales y, en especial, de la unidad vegetacional más importante de las zonas altoandinas, como son los bofedales” (Zeballos, Ochoa, & López, 2010).

Los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral presentan especies comunes variando en la abundancia, los índices de similitud muestran que la vegetación hidromórfica y mésica son más parecidas en su composición botánica compartiendo el 62% de especies (39 especies), mientras que la vegetación de borde es la que muestra menor número de especies compartidas, estando relacionadas con especies del límite del bofedal, compartiendo con la vegetación mésica menor porcentaje de especies comunes (41% con 32 especies comunes) y siendo mayor con la vegetación hidromórfica (45% con 37 especies comunes), sobre lo mencionado el tipo de vegetación hidromórfica y mésica presenta menor riqueza de especies en comparación con la vegetación de borde que reporta los valores más altos (Cuadro 8), sobre el particular los resultados coinciden con Valencia y otros (2016), la comunidad vegetal de Distichia (vegetación hidromórfica y vegetación mésica) presenta coberturas muy elevadas y un número relativamente bajo de especies y la comunidad de Vegetación Asociada (vegetación de borde) presenta menor cobertura vegetal; sin embargo, registra un número alto de especies.

El mayor porcentaje de similitud entre la vegetación hidromórfica y la vegetación mésica están relacionados con la profundidad de la napa freática que son estadísticamente similares de 15.00 cm y 22.50 cm respectivamente, siendo diferentes a la vegetación de borde que registra 65.50 cm de profundidad de la napa freática ( $n=372$ ;  $X^2=37.324$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ )) (Figura 7). Las especies vegetales no tienen una distribución uniforme en el bofedal, su composición botánica varía en relación a ciertos gradientes, cada especie muestra diferentes preferencias ecológicas que pueden ser compartidas o exclusivas a ciertas comunidades de los cojines a lo largo de gradientes ambientales (Munoz, y otros, 2014)

El hecho de que la profundidad de la napa freática tienda a ser menor o mayor con relación al tipo de vegetación, no necesariamente indica que la napa freática sea la única que produce una respuesta sobre el tipo de vegetación de

modo determinístico, esta respuesta en la vegetación también se encuentra relacionada con otras características de los factores hídricos y edáficos.

Los tipos de vegetación del bofedal Minas Corral son indiferente a la característica química del pH, siendo el promedio estadísticamente igual ( $X^2(2) = 5.125$ ,  $p=0.077$  ( $p > 0.05$ )) (Figura 12) en los tres tipos de vegetación, sin embargo, matemáticamente existen pequeñas diferencias en los valores medios del pH que va de 6.41 a 6.63, siempre los valores más altos se encuentran relacionados con la vegetación de borde. Si bien es cierto que no existe una variación de los valores de pH en los tipos de vegetación, si existe diferencias temporal espacialmente en el bofedal, básicamente relacionados con la precipitación, mostrando una variabilidad temporal y espacial, si bien el promedio de pH es neutro, los valores extremos varían de 4.76 a 8.71 siendo desde muy fuertemente ácido a medianamente básico. Los pH ácidos se encuentran en suelos con napa freática superficial y por estar en contacto con la materia orgánica y turba que caracterizan a la vegetación hidromórfica y mésica con dominancia de *Distichia muscoides* y *Plantago rígida*, estos resultados se encuentran corroborados por (Salvador, y otros, 2014), quienes afirman que los bofedales dominados por *Distichia* y *Plantago* están asociados con agua ácida. El bofedal Minas Corral muestra que existe una variación mensual de los valores del pH, los mayores valores de pH (8.17) se encuentra en el mes de agosto, disminuyendo hasta llegar a valores de pH ácido (6.01) en el mes de febrero, esta variación se encuentra en relación con la precipitación, los menores valores de pH se encuentran en los meses de lluvia cambiando a neutro y alcalino en la época seca, Gonzales y Fuentealba (2017) afirma que para bofedales de humedad permanente con nivel de la napa freática cerca al nivel del suelo se registran pH ácidos (valores entre 4.0 y 5.0), mientras para un bofedal estacional pH del agua es neutro (6.85) y del suelo es ácido (4.99), sobre estos resultados es necesario considerar que su evaluación solo menciona tres puntos de evaluación, resultados que no permiten definir las

características del pH para el bofedal, debido a que el pH presenta mucha variabilidad temporal y espacial como se demuestra para el bofedal Minas Corral.

Los valores de pH y conductividad eléctrica, así como las características del suelo están relacionadas con la litología del lugar, el bofedal Minas Corral litológicamente presenta suelos orgánicos, compresibles, saturados, finos, con abundante materia vegetal en proceso de descomposición, - siendo menor en la vegetación de borde, - de material parental de la formación portuguesa Nm-po, procedente de las rocas volcánicas que forman la secuencia del Nevado Portuguesa, del cual deriva su nombre (Anexo 8), se caracteriza porque su litología está constituida por derrame de lavas y brechas andesíticas y dacíticas en las unidades inferiores y domos riodacíticos con espectaculares deposiciones de tobas riodacíticas (ignimbritas) en las unidades superiores, de coloración variable gris verdosa, gris blanquecina a gris violácea (Morche, y otros, 1996).

Los valores de la conductividad eléctrica del agua de la napa freática son la misma en los tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral ( $X^2(2) = 0.380$ ,  $p=0.827$  ( $p > 0.05$ )) (Figura 13), sin embargo, se muestran diferencias matemáticas en las medias, los tipos de vegetación hidromórfica y mésica reportan menores valores promedios de 31,5 uS/cm y 36,5 uS/cm respectivamente, mientras que el valor más alto lo registra la vegetación de borde con valores de 47.9 uS/cm, relacionándose que a mayor profundidad de la napa freática los valores de conductividad eléctrica son mayores, lo que parece indicar que tiene alguna relación con la presencia del tipo de vegetación.

Condori y Choquehuanca (2001) evaluaron 86 bofedales cuyos suelos registran pH que “oscila entre 5.80 a 8.41 y una CE de 3.72 a 0.02 mS/cm”, valores similares a los identificados en el bofedal Minas Corral, muy por el contrario Palabral y Lliully (2014) reportan valores de conductividad eléctrica por encima

de los 200 uS/cm, reportando valores de hasta 1400 uS/cm, “lo que indica aguas de alto contenido salino, sin embargo, estos reportes fácilmente pueden sufrir disminuciones cuando el pH tiende a ser ácido durante el periodo lluvioso” (Alzérreca, y otros, 2001), los resultados del bofedal Minas Corral a ser comparados con otros trabajos de investigación permite indicar que los bofedales registran variaciones de pH y conductividad eléctrica que se pueden identificar en el mismo bofedal, hallándose valores diferentes según la ubicación espacial de la muestra y la época de año, condicionada por la cercanía a cuerpos de agua, ríos o pozas, presencia de turba, materia orgánica y tipo de vegetación, resultados similares de pH para aguas superficiales de los bofedales obtuvieron Alzérreca y otros (2001) obteniendo pH promedio del agua de diferentes bofedales que fluctúa entre 6.2 y 6.6 que es moderadamente ácido con tendencia hacia neutro, por su parte Palabral y Lliully (2014) reportan para bofedales de la región altoandina de Bolivia valores de 6.2 a 10.1 de pH, siendo valores más altos a los registrados en el bofedal Minas Corral, esta variación de los valores de pH se atribuye a la litología del bofedal, además, por la variación anual del pH es atribuible a la época de muestreo y la ubicación del bofedal en relación con la fuente de agua. En períodos secos, el nivel freático y las aguas superficiales de los bofedales generalmente incrementan su salinidad por la acumulación de sales y carbonatos; al contrario, en la época de lluvias estas sales y carbonatos son lavados, por ello, las variaciones del pH de estas aguas (Alzérreca, y otros, 2001).

La conductividad eléctrica al igual que el pH del agua de la napa freática del bofedal Minas Corral muestra variabilidad en sus valores condicionado por la profundidad de la napa freática y la precipitación, estando influenciados por las características propias del suelo que soporta el tipo de vegetación. Los valores bajos de conductividad eléctrica en el bofedal Minas Corral (menores a 80 uS/cm), que se considera de excelente a bueno para agua de riego por presentar baja concentración total de sales solubles, los que se atribuyen a la

baja o escasa presencia de sales inorgánicas como los carbonatos de calcio (Acero-Rodríguez & León, 2016), las características de valores bajos promedios de conductividad eléctrica menores de 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y valores promedios de pH mayores de 4.6 y cercanos a neutro lo clasifica al bofedal Minas Corral como un bofedal de turbera minerotrófica (Håkan & Jelum, 2013), el bofedal Minas Corral es un medio húmedo cubierto de turba alimentado por aguas que ascienden de la napa freática depositadas en los periodos de lluvia que han estado en contacto con el sustrato geológico que arrastra a su paso sustancias minerales disueltas provenientes de la napa freática, que se escurre lentamente por la permeabilidad que presenta, el que condiciona la presencia de plantas como *Distichia* y *Plantago*.

La humedad en el suelo está condicionada principalmente por la profundidad de la napa freática, siendo quizá la más importante, a ello hay que considerar que las características del suelo como la presencia de materia orgánica, la turba, granulometría, permeabilidad, hacen que el agua de la napa tienda a subir por capilaridad y mantener la humedad en la zona por encima de la napa freática (zona no saturada), afirmación sustentada por Iturraspe y Roig (2000) quienes mencionan que “el contenido de agua remanente en el material no saturado decrece cuando aumenta la profundidad de la freática. Por otra parte, el contenido de humedad en el estrato no saturado dependen del tipo de turbera”.

Las características físicas del suelo del bofedal Minas Corral muestran que los sitios con mayor porcentaje de saturación relativa, con presencia de turba y materia orgánica presentan una mayor humedad gravimétrica, esta humedad asciende a partir de la napa freática facultada por su poca profundidad. Si la zona no saturada del suelo en el bofedal por encima de la napa freática presenta materia orgánica o turba la permeabilidad se encuentra en la categoría de media a baja, como sucede en los sitios que presenta suelos hidromórficos, si presenta poca turba o poca materia orgánica la permeabilidad se encuentra en la categoría de baja, presente en suelos méxicos, los suelos con nada de



turba o materia orgánica, dependiendo de la textura del suelo presentan valores de permeabilidad de categoría media, que correspondería a los suelos de la zona de borde del bofedal (Figura 29).

La zona de vegetación hidromórfica en el bofedal se halla en lugares donde la napa freática es superficial con abundante turba y materia orgánica, tienen una mayor saturación de agua y mantienen la humedad del suelo, en época de estío el agua no está en la superficie, “pero el agua libre está presente solo a unos centímetros debajo de ella, esta característica es propia de Histosoles definidos por el régimen de humedad del suelo y por el grado de descomposición de los materiales orgánicos” (Condori & Choquehuanca, 2001) que asciende el agua por la turba y materia orgánica desde la napa freática, Fuentealba y otros (2017) indican que “los sitios con turba más profunda, tienen una mayor saturación de agua, lo que genera un ambiente anaeróbico y favorece la lenta descomposición del mantillo”. El agua no se mantiene saturada durante todo el año, requiere periodos de disminución de humedad con la finalidad de favorecer la descomposición de la materia orgánica y garantizar los nutrientes para las plantas, que requieren un periodo de reposo o disminución de la actividad fisiológica para iniciar el otro periodo fisiológico, en consecuencia, un bofedal no tiene que estar saturado durante todo el año, requiere periodos secos manteniendo una humedad mínima que garantiza a las plantas a estar siempre verdes, esta zona denominada acrotelmo presenta “fluctuaciones del nivel de agua libre y variabilidad del contenido de humedad con acceso de aire a los poros en forma periódica al descender el nivel de agua facilitando la descomposición y transformación de la vegetación por microorganismos aeróbicos” (Håkan & Jelum, 2013) y (Iturraspe & Roig, 2000) hasta llegar a la napa freática que es la zona del catotelmo, zona que presenta “contenido de humedad constante en el tiempo, o está sujeto a muy pequeñas modificaciones, sin acceso de oxígeno atmosférico a los poros y no hay microorganismos aeróbicos” (Håkan & Jelum, 2013) y (Iturraspe & Roig, 2000).

Los lugares donde se ubica la vegetación mésica en el bofedal presenta menor porcentaje de humedad que la vegetación hidromórfica, además en la época de lluvia muestra anegamiento, disminuyendo paulatinamente a medida que disminuyen las lluvias, mientras que la vegetación de borde muestra anegamiento solo cuando llueve, cuando ha perdido su capacidad de infiltración, escurriendo el agua hacia la zona mésica e hidromórfica, posibilitando la formación de la turba en la época de lluvia y su descomposición en la época seca, que por las condiciones ambientales siempre es menor a la que se produce la turba, resultados que concuerdan con Hribljan y otros (2015) y Fuentealba y otros (2017) quienes mencionan “los ambientes con un régimen hídrico estacional, la turba encontrada sería producto de la acumulación durante la época de lluvias, y descomposición durante la época seca, cuando la napa freática es más profunda”. La zona del bofedal donde se encuentra la vegetación de borde registra variaciones más significativas en el nivel freático, cuyo drenaje tiende a las zonas de la vegetación mésica e hidromórfica, resultados concordantes con Iturraspe y Roig (2000) quienes estudiaron turberas de sphagnum “las áreas de borde presentan mayor facilidad de drenaje lateral por gravedad, favorecido por un mayor gradiente hidráulico con pérdida de eficiencia del sistema capilar remplazando agua por aire presentando cambios en la composición florística del turbal”.

El bofedal Minas Corral muestra diferentes asociaciones vegetales condicionados por la profundidad de la napa freática, para el caso de la vegetación hidromórfica se puede decir que las aguas freáticas superficiales tienen fuerte relación con la vegetación y su composición los cuales asciende al top soil a través de la capa de turba “mediada por el transporte capilar que permite desplazar agua hasta más de un metro por encima del nivel freático” (Jobbág & Noretto, 2008), para el caso de nuestro estudio por la naturaleza de la turba y su profundidad que ocupa en el perfil permite que el agua se desplace hacia la superficie con mucha facilidad siendo aprovechado por las plantas en el

bofedal, apreciándose los efectos en la composición florística del bofedal con presencia de plantas siempre verdes durante todo el año, en ese sentido la composición botánica y su abundancia son variable en el bofedal, en consecuencia, su capacidad de carga animal, que no solo se encuentra relacionado al tipo de vegetación, sino a características que son necesarios incorporar en las técnicas de manejo de pasturas en los bofedales, entendiéndose la relación estrecha que existe entre la napa freática - composición florística - capacidad de carga animal.

Se ha establecido que la profundidad de la napa freática está relacionada con el tipo de vegetación, el cual guarda una relación directa, al respecto Jobbág y Nosetto (2008) en las pampas argentinas sobre plantas cultivadas señala que el cultivo es la “principal variable que define la influencia de la napa sobre los cultivos es su profundidad, comprender y cuantificar la relación profundidad-aporte/anegamiento en los sistemas es la clave para incorporar el componente freático en la toma de decisiones”.

Los resultados obtenidos en las calicatas (Anexo 9) mostraron que la capa de suelo orgánico varía en espesor desde la superficie, variando de capas casi homogénea de arcillas de color rojo, verde, blanco humo y presencia de capas de arena con espesores muy variables de 0.05 a 0.10 m que guarda relación con la textura del suelo en cada horizonte o capa del suelo, para el caso del bofedal Minas Corral se han identificado clase texturales de franco arcillo arenoso, franco arenoso, arena franca y turba, texturas similares de combinaciones de textura arenosa a franca fueron reportados por (Condori & Choquehuanca, 2001) y (Alzérreca, y otros, 2001), por su parte Zeballos y otros (2010), reportan de franco a franco arcilloso. La presencia de capas de espesores variables en los horizontes en el suelo del bofedal nos informa sobre la evolución del bofedal a partir de materiales de diferentes orígenes, probablemente relacionado con periodos de lluvias intensa que han producido acumulación de material de arrastre sobre la superficie del bofedal y que a la

vez guarda relación con las fases o etapas del cambio climático andino interpretados con base en los registros del fenómeno de “El Niño” que tienen mucha relación con los períodos climáticos andinos correspondiente a los últimos 5 000 años (Salaverry, 2006).

Los valores de materia orgánica, textura, densidad aparente, porosidad, humedad gravimétrica y permeabilidad varían en función a la profundidad del perfil del suelo del bofedal, estas características físicas se encuentran relacionadas, cuanto mayor es la materia orgánica, menor es la densidad aparente, siendo mayor la saturación relativa en consecuencia mayor humedad gravimétrica, resultados que concuerdan con los estudios realizados por (Palabral & Lliully, 2014) “a valores altos de densidad aparente indican que estos suelos contienen muy poca materia orgánica y poseen una relación inversamente proporcional. Así mismo los bajos valores de porosidad y humedad gravimétrica resaltan la poca capacidad de retención de humedad”. La “conductividad hidráulica, o permeabilidad, disminuye con el aumento del grado de humificación, sin embargo la formación de estratos, que suelen incluir ramas, tallos y en ocasiones capas delgadas de suelo mineral, pueden facilitar el drenaje horizontal” (Iturraspe & Roig, 2000) del agua en el bofedal, y las estructuras fibrosas (turba) posibilitan el movimiento del agua en sentido vertical desplazándose del catotelmo al acrotelmo.

La textura del suelo, porcentaje de materia orgánica y turba muestran espesores variables formando capas delgadas discontinuas en cada horizonte del perfil de suelo, disminuyendo paulatinamente los porcentajes de materia orgánica y contenido de turba a medida que se incrementa la profundidad (Cuadro 11, Figura 29), estas características hacen que a través del perfil del bofedal no se encuentre un flujo del agua horizontal uniforme, siendo más significativo el movimiento del agua en el acrotelmo, zona que muestra niveles de saturación relativa elevada de agua que disminuye paulatinamente a medida que se incrementa la profundidad del suelo hasta llegar a la zona saturada

limitada por la napa freática, la zona saturada llamada catotelmo que se encuentra debajo de la napa freática, genera el desplazamiento del agua más en sentido horizontal que vertical por las mismas características del perfil del suelo, permitiendo el ascenso del agua a la superficie del bofedal (Iturraspe & Roig, 2000).

La condición de saturación relativa del agua en cada tipo de vegetación identificado en el bofedal Minas Corral responde a las características de la porosidad y humedad gravimétrica que puede retener el suelo, presencia de materia orgánica y contenido de turba, estas características del suelo están asociadas a un patrón en particular según el tipo de vegetación, tan es así que los suelos de la vegetación hidromórfica, vegetación méstica y vegetación de borde presentan características diferenciables entre sí (Figura 29).

El suelo donde se encuentra la vegetación hidromórfica presenta una mayor saturación relativa de sus espacios vacíos que contienen agua, llegando al 100% de saturación en todo el perfil del suelo hasta llegar a la napa freática, siendo menores en los suelos de vegetación méstica y vegetación de borde; los suelos de la vegetación méstica registran saturación de agua de 100% en los primeros 50 cm de profundidad, a partir del cual disminuye hasta un 50% de saturación relativa a los 90 cm para luego retornar a su condición de saturación relativa de 100% cuando llega a la napa freática. El suelo de la vegetación de borde registra porcentajes de saturación relativa muy baja de 30%, incrementándose a los 30 cm de profundidad ( $S_r=70\%$ ) para luego disminuir y mantenerse en 20% de humedad relativa a partir de los 90 cm.

Teniendo en cuenta el porcentaje de saturación, los suelos de la vegetación hidromórfica pueden ser denominados saturados ( $S_r=100\%$ ), mientras que los suelos de la vegetación méstica pueden ser denominados de muy húmedos a altamente saturados ( $S_r=50-100\%$ ), pero al ser comparados hasta los 50 cm de profundidad ambos tipos de suelos pueden ser considerados como saturados

por presentar valores al 100% de saturación relativa del agua en el suelo. Los suelos de la vegetación de borde muestran un comportamiento variable con relación a la profundidad del suelo, los primeros 60 cm de profundidad del suelo pueden ser considerados como húmedo a muy húmedo ( $S_r=30-68\%$ ), por debajo de ello se comportan como suelos secos ( $S_r=20\%$ ).

Se puede afirmar sobre la base de los resultados que los suelos del bofedal Minas Corral donde se encuentra la vegetación hidromórfica muestra mayor contenido de materia orgánica con abundante presencia de turba lo que favorece una mayor saturación de agua, siendo menor en los otros tipos de vegetación, la mésica y de borde, siendo mucho menor en los suelos de la vegetación de borde, cuyo contenido de materia orgánica es muy pobre y presenta muy poca turba, el que condiciona la poca capacidad de retención del agua.

Los valores de porosidad en el perfil del suelo es variable en cada horizonte, los mayores valores se registran en la zona superficial del suelo, estando posiblemente relacionados con valores altos de materia orgánica, consecuentemente muy relacionados con mayores valores de saturación, llegando hasta el 100%, resultados que coinciden con la "porosidad total que suele alcanzar Sphagnum no degradado, valores entre 95% y 98%, preponderantemente ocupada por agua, en forma de agua libre intersticial y como agua incorporada a los tejidos celulares, en proporciones más significativas" (Iturraspe & Roig, 2000).

El bofedal Minas Corral presenta variación en la profundidad de la napa freática, la zona no saturada del bofedal fluctúa en la vertical condicionada por la precipitación pluvial, pudiendo estar muy próximo o en la superficie del suelo provocando áreas encharcadas (pozas permanentes) que se encuentran en los tipos de vegetación hidromórfica y mésica, a diferencia de las áreas encharcadas temporalmente (Pozas temporales) que se encharcan en las

épocas de lluvia desapareciendo paulatinamente a medida que disminuye la precipitación, estas áreas mantienen una apariencia de un suelo seco en la superficie en la época seca, que por debajo de los 20 cm muestra porcentajes de humedad posiblemente por su cercanía a la profundidad de la napa freática y presencia de turba, materia orgánica y textura del suelo que se encuentran distribuidos por capas pequeñas de altura variable (5 a 10 cm) dentro de los horizontes que permite el movimiento del agua definida por los valores de permeabilidad del suelo que son diferentes en cada horizonte (Cuadro 11), estas condiciones favorecen el movimiento del agua sub superficial dentro del bofedal desplazándose desde aquellos puntos en los que el nivel freático está más alto hacia aquellos en los que está más bajo (CEA, 2006), lo que demuestra que las menores modificaciones en el flujo de agua subterránea o subsuperficial generará menor desplazamiento vertical del agua hacia la superficie generando áreas en la superficie menos húmedas facultando el cambio de especies vegetales, con la aparición de especies menos sensibles a los cambios de humedad, que “pueden resultar en cambios dramáticos de su composición y diversidad florística por ser ecosistemas frágiles por su lenta capacidad de respuesta, por lo que cualquier alteración en su funcionamiento, especialmente en su hidrología, genera fuertes impactos y degradación” (Benavides, 2014), aspecto importante a ser considerado por los proyectos que modifican los flujos de agua de ingreso y salida al bofedal, siendo necesario mayores estudios y modelamientos para analizar el comportamiento freático en relación al comportamiento de la vegetación, que parece estar más vinculado a las épocas del año en lo que se refiere a las precipitaciones, cuya recarga hídrica en el bofedal responde a aportes locales dada por las precipitaciones (Canale, y otros, 2009).

## 4.2. Pruebas de hipótesis

**Prueba de hipótesis para determinar si existe influencia de la profundidad de la napa freática en los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en el bofedal altoandino Minas Corral.**

### Problema general

¿En qué medida la profundidad de la napa freática influye sobre los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en los bofedales altoandinos?

### Hipótesis

Ho: La profundidad de la napa freática no influye sobre los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en los bofedales altoandinos

$$H_0: r_s = 0$$

Ha: La profundidad de la napa freática influye sobre los tipos de vegetación y la capacidad de carga animal en los bofedales altoandinos.

$$H_a: r_s \neq 0$$

**Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  (5%)

**Estadístico de prueba:** Correlación de Spearman (Cuadro 4)

Profundidad de la napa freática y la vegetación ( $r=0,288$ ,  $p<0.05$ ),

Profundidad de la napa freática y la carga animal UAalpaca ( $r=-0,251$ ,  $p<0.05$ ),

### Regla de decisión

$p<0.05$ , se acepta la hipótesis nula Ho

$p>0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa Ha

**Conclusión:** Se acepta la hipótesis alternativa. La profundidad de la napa freática tiene relación con la vegetación del bofedal generando tres tipos de vegetación, asimismo tiene relación con la condición de carga animal Unidad Animal alpaca.



**Cuadro 4. Correlación de Spearman entre la profundidad de la napa freática con los tipos de vegetación y carga animal en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Correlación		Vegetación	Carga animal (UA alpaca)
Rho de Spearman (r)	Profundidad de la napa freática	0,288**	-,0251**
		0,000	0,000
		372	372

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Los resultados de la correlación de Spearman para la vegetación y la capacidad de carga animal Unidad Animal alpaca rechazan la hipótesis nula (Cuadro 4), por lo tanto, se acepta que la profundidad de la napa freática presenta una correlación lineal estadísticamente significativa positiva con los tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral ( $r=0,288$ ,  $p<0.05$ ), es decir, existe una influencia de la profundidad de la napa freática sobre los tipos de vegetación.

Para el caso de la profundidad de la napa freática con la capacidad de carga animal Unidad Animal Alpaca (UAalpaca), existe una correlación lineal negativa estadísticamente significativa inversa ( $r=-0,251$ ,  $p<0.05$ ), por lo tanto al aumentar la profundidad del nivel de la napa freática disminuye la capacidad de carga animal alpaca.

**Prueba de hipótesis para determinar si los tres tipos de vegetación varían en función a la profundidad de la napa freática.**

**Problema**

¿En qué medida los tres tipos de vegetación varían en función a la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral?

**Hipótesis**

Ho: La profundidad de la napa freática es similar en los tres tipos de vegetación en el bofedal altoandino.

$$H_0 = Md1 = Md2 = Md3$$

Ha: La profundidad de la napa freática es diferente en al menos uno de los tres tipos de vegetación en el bofedal altoandino.

$$H_0 = Md1 \neq Md2 \neq Md3$$

**Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  (5%)

**Estadístico de prueba:** Prueba de Kruskal-Wallis (Figura 7)

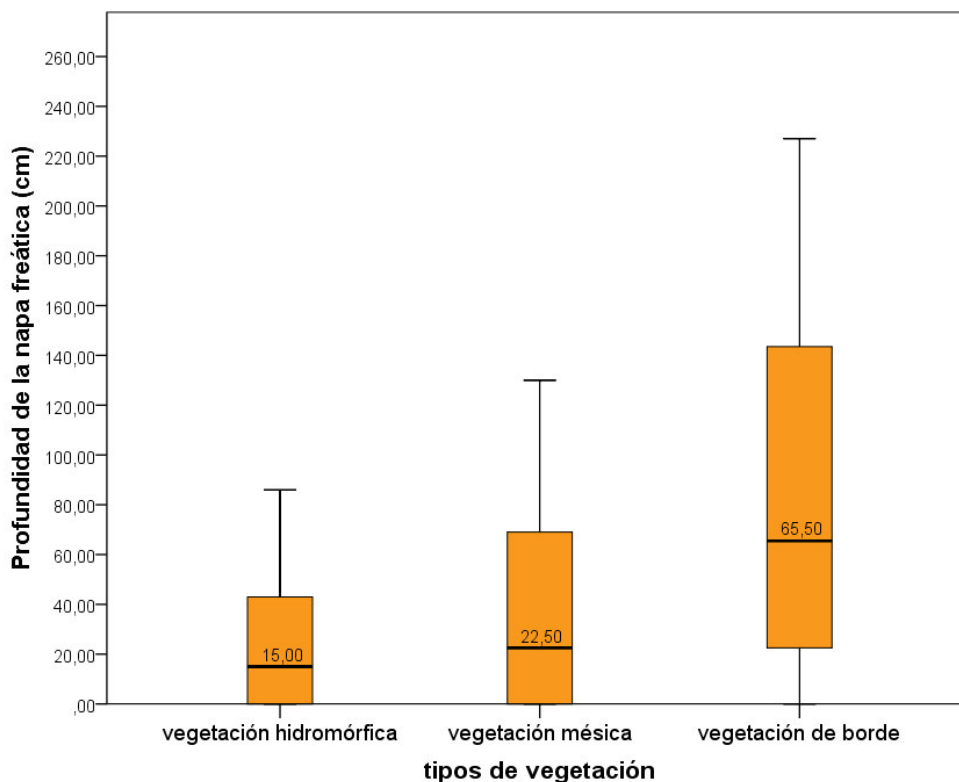
$$n=372; X^2=37.324; g=2; p=0.000 \text{ (Anexo 7a)}$$

**Regla de decisión**

$p < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula Ho

$p > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa Ha

**Conclusión:** Se acepta la hipótesis alterna. La profundidad de la napa freática es diferente en al menos uno de los tres tipos de vegetación (hidromórfica, mésica y de borde) en el bofedal altoandino.



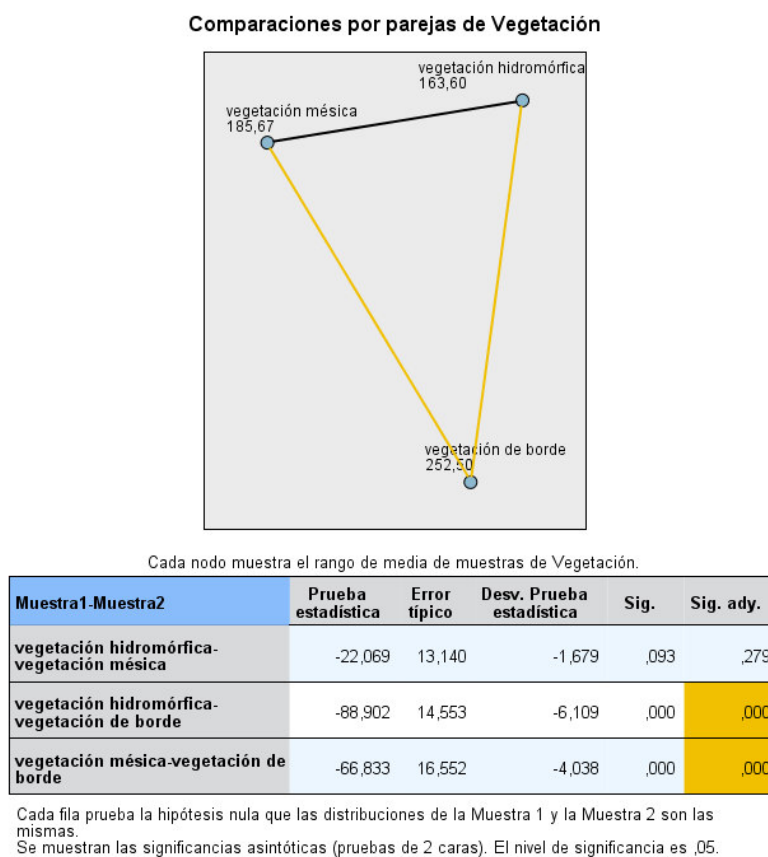
**Figura 7. Diagrama de caja y bigotes de la prueba de Kruskal-Wallis ( $n=372$ ;  $X^2=37.324$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ )) para la comparación de la profundidad de la napa freática en los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral.**

La prueba de Kruskal-Wallis rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis alterna, la profundidad de la napa freática es al menos diferente en un tipo de vegetación  $n=372$ ;  $X^2=37.324$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ ) (Figura 7), por lo tanto, la profundidad de napa freática es diferente en cada tipo de vegetación identificado en el bofedal Minas Corral.

En el gráfico de caja y bigotes en la figura 6 se compara la profundidad de la napa freática (cm) en los diferentes tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral, puede observarse que la distribución de la profundidad de la napa freática es mayor (mayor dispersión) en el tipo de vegetación de borde; el que, por otra parte, presenta la profundidad de napa freática promedio (mediana) mayor (65.50 cm) que el de los tipos de vegetación méstica (22.50 cm) y

vegetación hidromórfica (15.0 cm). En los tres tipos de vegetación se pueden observar valores de 0 cm de profundidad de napa freática como valor mínimo, a diferencia de los valores máximos de profundidad de la napa freática que es menor para la vegetación hidromórfica, seguida por la vegetación mésica, siendo mucho más profundo para la vegetación de borde.

Las comparaciones múltiples señalan que los tipos de vegetación hidromórfica y vegetación mésica tienen profundidades de napa freática estadísticamente similares (15.22 cm y 22.50 cm respectivamente), mientras que el tipo de vegetación de borde presenta una profundidad de la napa freática distinta y mayor (65.50 cm) que los otros dos tipos de vegetación (Figura 8).



**Figura 8. Comparaciones por parejas de la prueba de Kruskal-Wallis para los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

**Prueba de hipótesis para determinar si la condición de capacidad de carga animal varían en función a la profundidad de la napa freática.**

### **Problema**

¿En qué medida la condición de capacidad de carga animal alpaca varían con la profundidad de la napa freática en el bofedal altoandino Minas Corral?

### **Hipótesis**

Ho: La profundidad de la napa freática es similar en todas las condiciones de capacidad de carga animal alpaca en el bofedal altoandino

$$H_0 = Md1 = Md2 = Md$$

Ha: La profundidad de la napa freática es diferente en al menos una condición de capacidad de carga animal Unidad animal alpaca en el bofedal altoandino.

$$H_0 = Md1 \neq Md2 \neq Md$$

**Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  (5%)

**Estadístico de prueba:** Prueba de Kruskal-Wallis (Figura 9)

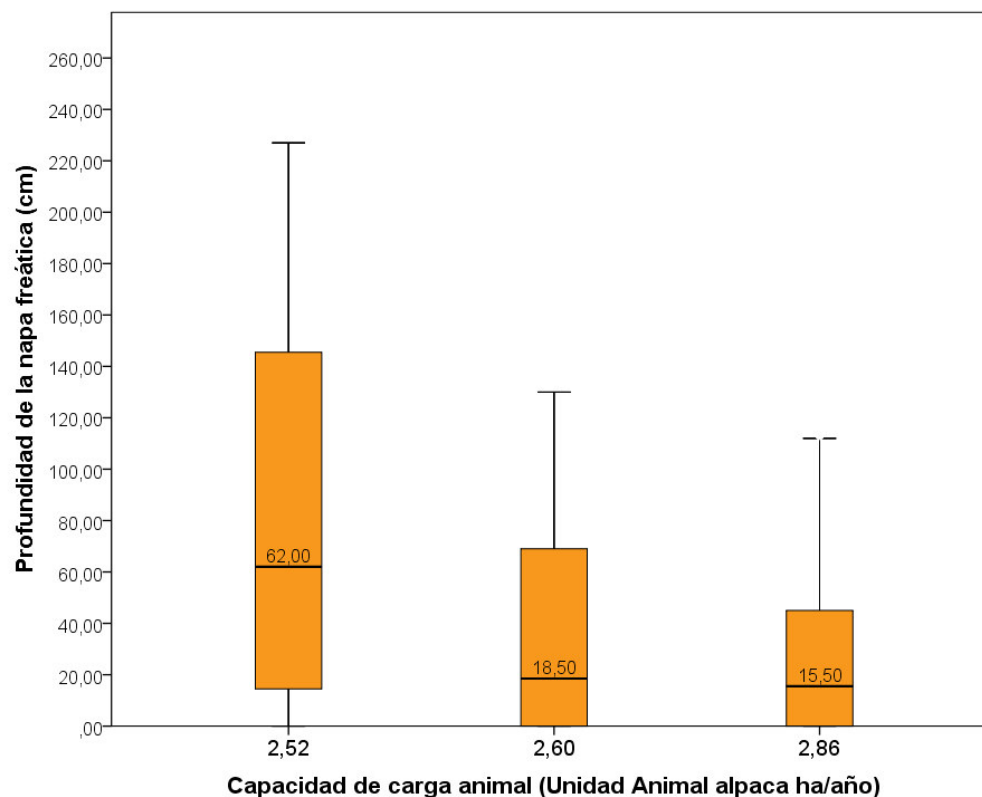
$n=372$ ;  $X^2=28.203$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  (Anexo 7b)

### **Regla de decisión**

$p < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula Ho

$p > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa Ha

**Conclusión:** Se acepta la hipótesis alterna. La profundidad de la napa freática es diferente en al menos una condición de capacidad de carga animal Unidad animal alpaca en el bofedal altoandino.



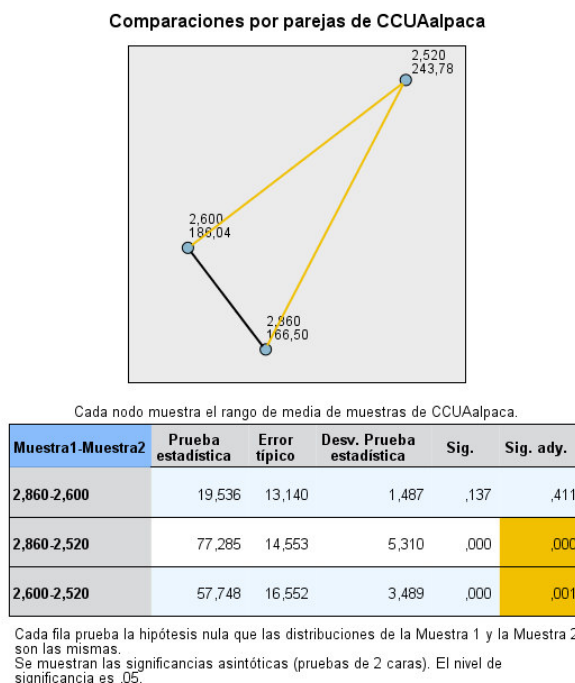
**Figura 9. Diagrama de caja y bigotes de la prueba de Kruskal-Wallis ( $n=372$ ;  $X^2=28.203$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ )) para comparación de la profundidad de la napa freática en las condiciones de capacidad de carga UA alpaca en el bofedal Minas Corral.**

Los resultados permiten aceptar la hipótesis alterna donde por lo menos una condición de carga animal Unidad Animal alpaca presenta diferente profundidad de napa freática  $n=372$ ;  $X^2=28.203$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.000$  ( $p < 0.05$ ), (Figura 9), por lo tanto, la profundidad de napa freática es diferente en cada condición de carga animal Unidad Animal alpaca determinado en el bofedal Minas Corral.

En el gráfico se caja y bigotes de la figura 8 se compara la profundidad de la napa freática (cm) en los diferentes tipos de condición vegetal expresado en Unidad Animal alpaca para el bofedal Minas Corral, puede observarse que existe una relación inversa, a mayor profundidad de la napa freática es menor los valores de Unidad Animal alpaca, los valores de profundidad de la napa freática muestran que están relacionados con los tipos de vegetación, la mayor

profundidad de napa freática (62 cm) que está relacionada con el tipo de vegetación de borde presenta la menor condición de capacidad de carga animal de 2.52 UA alpaca ha/año, a diferencia de las profundidades de 18.50 cm y 15.50 cm, valores relacionados con los tipos de vegetación mésica e hidromórfica, muestran valores de capacidad de carga de 2.60 y 2.86 UA alpaca ha/año, también se observa en el gráfico que cuanto más cercano se encuentra la napa freática a la superficie del suelo, presenta mejores condiciones de capacidad de carga animal alpaca.

Las comparaciones múltiples evidencian que la capacidad de carga animal UA alpaca ha/año de 2.60 y 2.86 presentan estadísticamente semejante profundidad de la napa freática (18.50 cm y 15.50 cm respectivamente), mientras que la UA alpaca ha/año de 2.52 muestra una profundidad de la napa freática distinta y mayor de 62.00 cm (Figura 10).



**Figura 10. Comparaciones por parejas de la prueba de Kruskal-Wallis para la capacidad de carga animal UA alpaca con relación a la profundidad del nivel de la napa freática del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

**Prueba de hipótesis para determinar si existe relación directa entre la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal Minas Corral.**

### **Problema**

¿Qué tipo de relación presentará la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal Minas Corral?

### **Hipótesis**

Ho: La relación existente entre la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal altoandino Minas Corral es inversa.

$$H_0: r_s = 0$$

Ha: La relación existente entre la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal altoandino Minas Corral es directa.

$$H_0: r_s = 0$$

**Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  (5%)

**Estadístico de prueba:** Correlación de Spearman (Cuadro 5)

$$r=0,363, p<0.05$$

### **Regla de decisión**

$p<0.05$ , se acepta la hipótesis nula Ho

$p>0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa Ha

**Conclusión:** Se acepta la hipótesis alternativa. La profundidad de la napa freática y composición florística están relacionadas, cuando la profundidad de la napa freática aumenta, la composición florística es mayor.



Los resultados de la correlación de Spearman para la composición florística (riqueza de especies) rechazan la hipótesis nula (Cuadro 5), por lo tanto, se acepta que la profundidad de la napa freática presenta una relación directa estadísticamente significativa con la riqueza de especies en el bofedal Minas Corral ( $r=0,363$ ,  $p<0.05$ ). Las dos variables, profundidad de la napa freática y composición florística están relacionadas, cuando la profundidad de la napa freática aumenta, la composición florística es mayor.

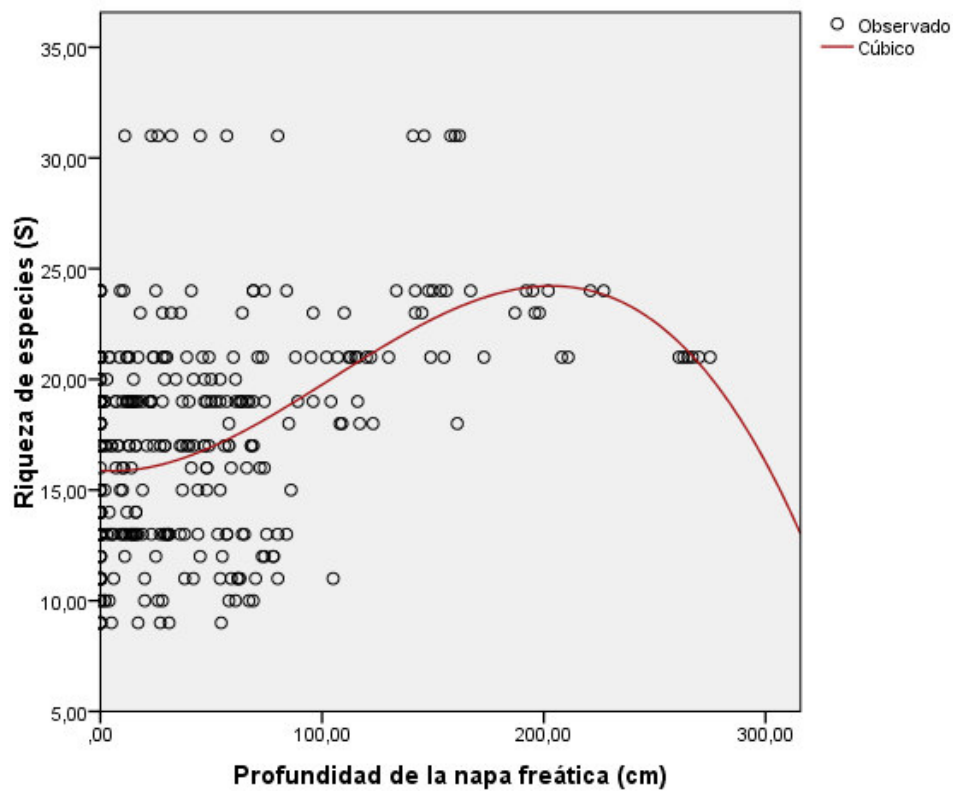
**Cuadro 5. Correlación de Spearman entre la profundidad de la napa freática con la composición florística (riqueza de especies) en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho**

Correlación		Composición florística (riqueza de especies)	$r_s^2$
Rho de Spearman	Profundidad de la napa freática	Coeficiente de correlación $r_s$	0,363**
		Sig. (bilateral)	0,000
		N	372

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Al existir una correlación lineal positiva  $r=0.363$ , que explica el 13.2% ( $r^2 = 0.132$ ) de la variabilidad de la riqueza de especies (cuadro 4), al realizar un ajuste a la línea muestra un modelo cúbico (Figura 11).

Si bien es cierto, existe una relación directa, es decir a mayor profundidad de la napa freática, mayor es el número de especies (riqueza de especies (S)), pero llega un punto donde el número de especies expresan una disminución a medida que se sigue incrementando la profundidad de la napa freática, obedeciendo a una regresión de ajuste cúbico,  $Y=\beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2 + \beta_3X^3$ , siendo el modelo  $S = 15,88019829560722 + (-0,007237243365144998)X + 0,000676762006789464 X^2 + (-2,161355417580779e-006)X^3$  (figura 10).



**Figura 11.** Diagrama de dispersión de la riqueza de especies (S) con la profundidad del nivel de la napa freática y el modelo de regresión cúbica del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

**Prueba de hipótesis para determinar si los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son similares en los tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral.**

### **Problema**

¿Cuáles serán las características químicas del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática según los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal altoandino Minas Corral?

### **Hipótesis**

Ho: Los valores del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son similares en los tres tipos de vegetación en el bofedal altoandino.

$$H_0 = Md1 = Md2 = Md$$

Ha: Los valores del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son diferentes en al menos uno de los tres tipos de vegetación en el bofedal altoandino.

$$H_a = Md1 \neq Md2 \neq Md$$

**Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$  (5%).

**Estadístico de prueba:** Prueba de Kruskal-Wallis (Figura 12)

pH:  $n=372$ ;  $X^2=5.125$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.077$  (Anexo 7c).

Conductividad eléctrica:  $n=372$ ;  $X^2=0.380$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.827$  (Anexo 7c).

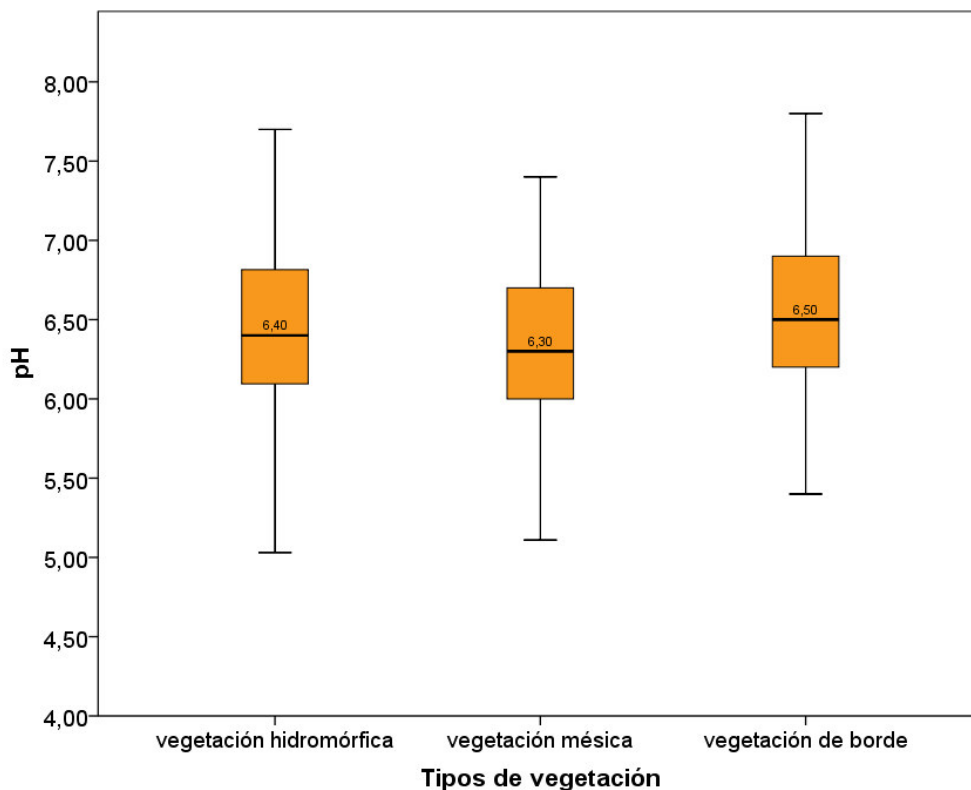
### **Regla de decisión**

$p < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula Ho

$p > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa Ha.

**Conclusión:** Se acepta la hipótesis nula. Los valores del pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son diferentes en al menos uno de los tres tipos de vegetación en el bofedal altoandino.

La prueba de Kruskal-Wallis acepta la hipótesis nula (Figura 12 y Figura 13), se encontró que los valores de pH y conductividad eléctrica en las aguas de la napa freática son estadísticamente iguales en los diferentes tipos de vegetación del bofedal a un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , siendo el nivel crítico (Sig.) mayor que 0,05, siendo para el pH  $n=372$ ;  $X^2=5.125$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.077$  ( $p > 0.05$ ) y para la conductividad eléctrica  $n=372$ ;  $X^2=0.380$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.827$  ( $p > 0.05$ ).

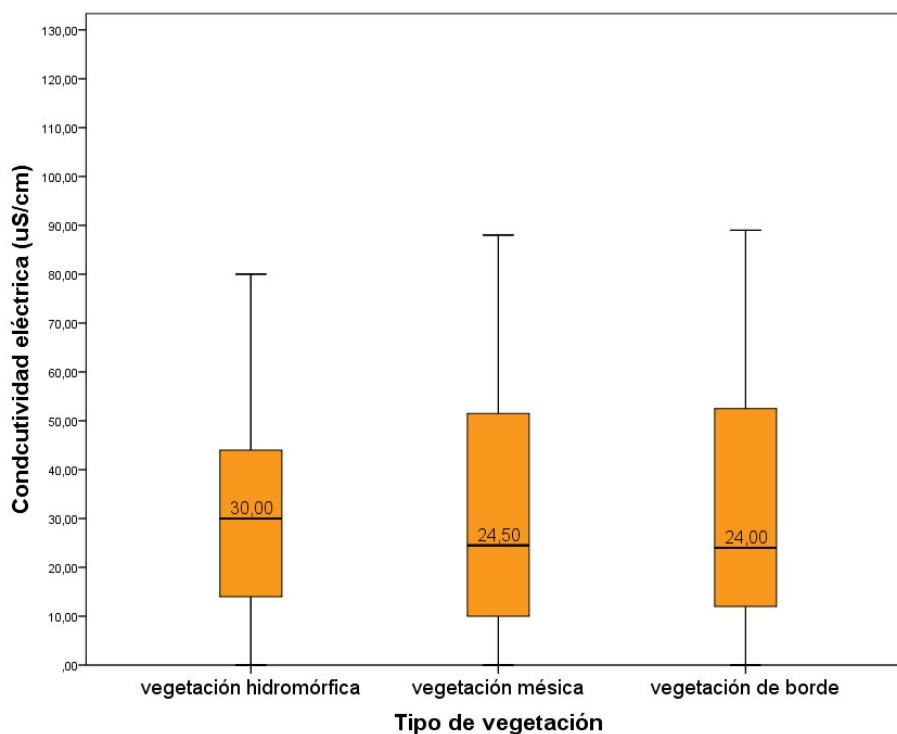


**Figura 12. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH ( $n=372$ ;  $X^2=5.125$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.077$  ( $p > 0.05$ )) en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Los valores de la mediana se encuentran entre valores de pH de 6.40, 6.30 y 6.50 para los tipos de vegetación hidromórfica, mésica y de borde, los valores de pH mínimos y máximos son muy similares, siendo ligeramente en la vegetación hidromórfica el menor valor de pH cercano a 5 y en la vegetación de

borde se registra ligeramente el mayor valor de pH cercano a 8. Por lo tanto, se puede indicar que los valores de pH del agua de la napa freática son similares en cualquiera de los tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral.

La vegetación hidromórfica presenta valores de conductividad eléctrica ligeramente mayor de 30 uS/cm con respecto a los tipos de vegetación mésica y de borde quienes registran valores muy similares de 24.50 y 24.0 uS/cm, en los tres tipos de vegetación se ha registrado valores de cero de uS/cm como valores mínimos, mientras que los valores máximos son muy similares en los tres tipos de vegetación.



**Figura 13. Prueba de Kruskal-Wallis para la conductividad eléctrica  $n=372$ ;  $X^2=0.380$ ;  $gl=2$ ;  $p=0.827$  ( $p > 0.05$ ) en los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

### 4.3. Presentación de resultados.

La Convención de Ramsar define los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013) albergan comunidades con características biológicas para cada tipo de humedal. Los bofedales son considerados un tipo de humedal, que si se encuentran por encima de los 3,800 m.s.n.m. se les considera como bofedal alto andino (Alzérreca & Lara, 1988), caracterizados por presentar suelos inundados temporal o estacionalmente, con humedad del suelo alta por la presencia de turba; masa esponjosa y ligera con presencia de restos vegetales de material originario, proveniente principalmente de *Distichia muscoides* cuyo espesor depende del estado sucesional del bofedal, además por la abundante materia orgánica en descomposición (suelo orgánico) que mantienen la humedad del suelo durante todo el año, con características físicas y químicas del suelo y del agua propias, facultando la presencia de diferentes tipos de vegetación propios de los bofedales. La estrategia nacional de humedales, considera en su clasificación los tipos de bofedales andinos; lagos, lagunas, bofedales, manantiales, puquios turberas, humedales de páramos, donde se puede apreciar dos tipos de humedales andinos de modo distinto la turbera y bofedales, definiendo bofedal o oconales como “humedales propios de las regiones altoandinas caracterizados por ser extensas áreas húmedas, parcial o totalmente inundadas debido a la materia orgánica en el suelo con escaso drenaje, ayudando así al mantenimiento de la humedad” (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM, 2015).

Los bofedales, por su importancia en la provisión de bienes y servicios, por ser ecosistemas únicos y frágiles, requieren ser caracterizados con la finalidad de conocer su dinámica y funcionamiento que permita un manejo sostenible, para ello se hace necesario una tipificación de los bofedales, que responda a

criterios técnicos y prácticos en un contexto científico, en ese sentido, cada bofedal tiene características ecológicas diferentes, dependiendo de su hidroperiodo influenciando en la formación de turba y la presencia de especies vegetales (Fuentealba, y otros, 2017), en ese sentido es importante caracterizar el bofedal objeto de estudio, de ello dependerá sus atributos, con la finalidad de responder si existe relación de la profundidad de la napa freática con la vegetación y la capacidad de carga animal alpaca.

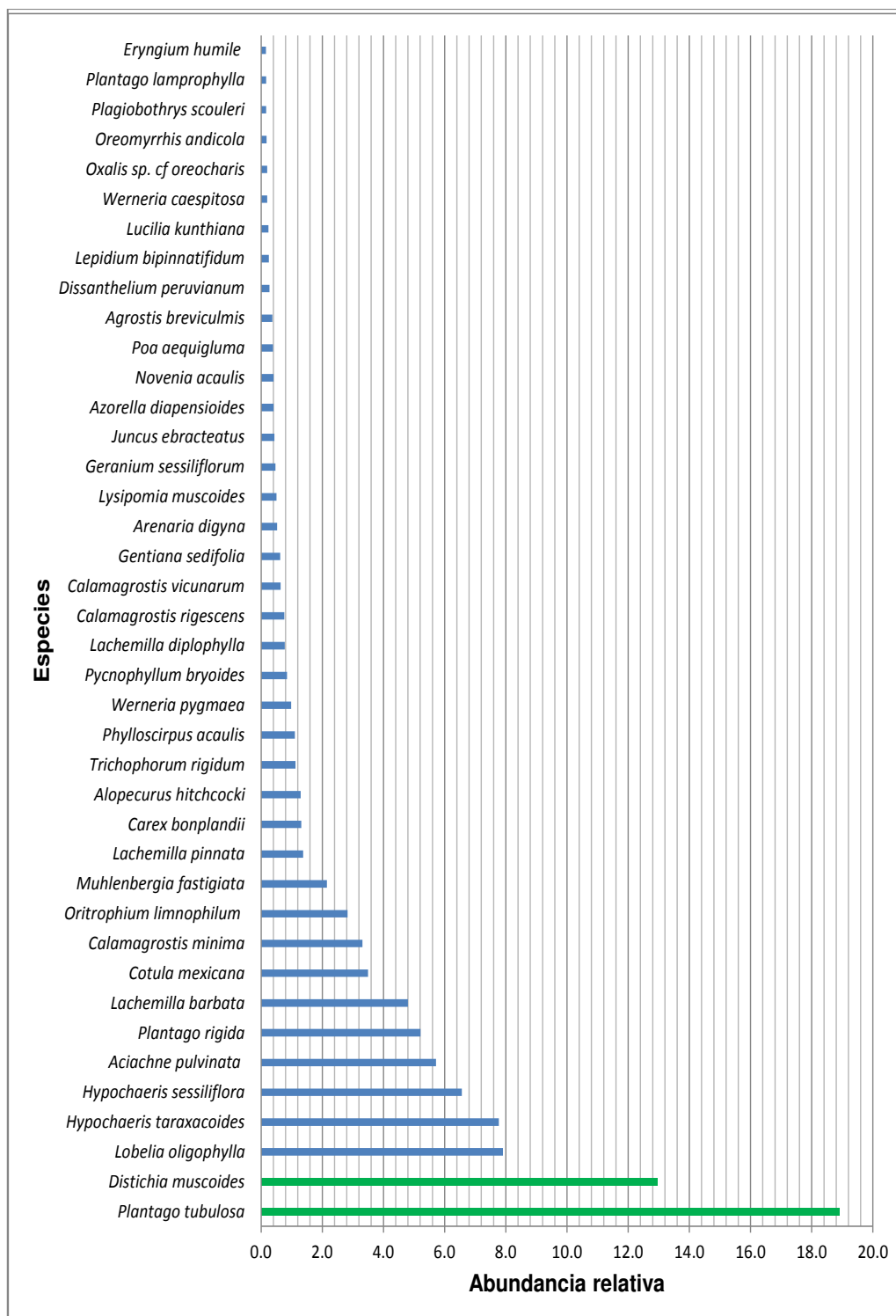
#### **4.3.1. Caracterización de la vegetación**

La evaluación de la vegetación del bofedal Minas Corral permitió registrar 85 especies de flora, para estimar el total de especies posibles a encontrar en el bofedal (riqueza esperada) se utilizó el modelo no paramétrico de Chao1 (Moreno, y otros, 2011) cuyo cálculo fue de 92 especies esperadas, lo que supone teóricamente que faltaría registrar 7 especies posiblemente sean especies raras para el bofedal Minas Corral. Las 85 especies registradas en las unidades muestrales tienen una representatividad de las especies del 92 %. (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Cobertura de la muestra y la riqueza observada y estimada de la flora del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

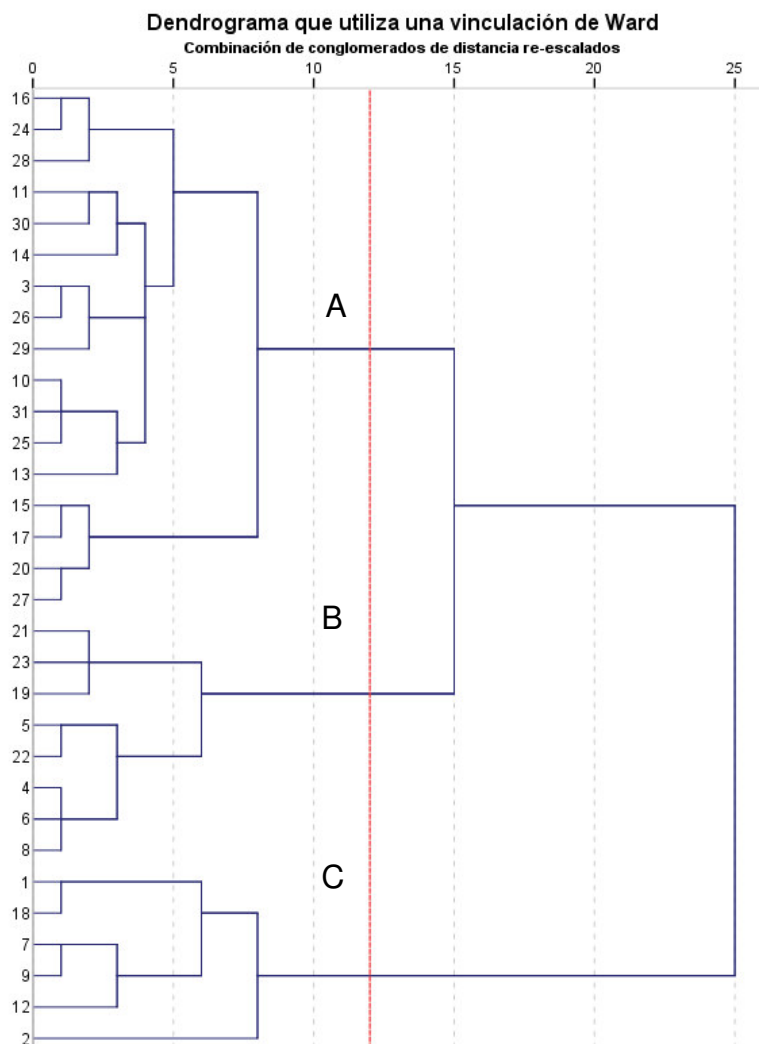
BOFEDAL	Riqueza observada (especie)	Riqueza esperada (Chao1) (especie)	% representatividad de las especies
Bofedal Minas Corral	85	92.43	91.96

Para el bofedal Minas Corral se encontró un total de 85 especies distribuidas en 27 familias con una cobertura vegetal del 96%, (Anexo 4), del cual se desprende que las especies que presentaron mayor cobertura vegetal son *Plantago tubulosa* y *Distichia muscoides* tienen los valores mayores del Índice de Valor de Importancia para el bofedal (Figura 14).



**Figura 14. Abundancia relativa de las especies del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**





**Figura 15. Dendrograma de similitud por el método de Ward para los 31 puntos de muestreo basado en la composición y cobertura vegetal del bofedal Minas Corral Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Sobre la base de la composición florística y abundancia de las especies registradas en las 31 unidades muestrales ubicadas para el bofedal Minas Corral se establecieron conglomerados por medio del método Ward, se establecieron tres conglomerados (Figura 15); Vegetación hidromórfica (A), Vegetación méstica (B) y Vegetación de borde (C), denominadas así por su relación con la humedad del suelo (Fiorio, 1996), por su parte (Troncoso, 1982)

con un criterio hídrico clasifica a los bofedales como “bofedal hídrico sobre suelo de turba profundos con nivel freático alto de 0 a 40 cm con abundante escurrimiento superficial y el bofedal méxico sobre turba poco fibrosa con napa freática entre 40 a 120 cm de profundidad”.

Los tipos de vegetación determinados para el bofedal Minas Corral muestran diferente composición florística, existiendo especies dominantes para cada tipo de vegetación, del cual se desprende la presencia de especies únicas para un tipo de vegetación, así como especies compartidas que se encuentran en los tres tipos de vegetación (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Especies comunes y únicas en tres formaciones vegetales del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

ESPECIES COMUNES	VEGETACIÓN HIDROMÓRFICA	VEGETACIÓN MÉSICA	VEGETACIÓN DE BORDE
<i>Aciachne pulvinata</i>	<i>Bartsia difundio</i>	<i>Castilleja pumila</i>	<i>Acaulimalva engleriana</i>
<i>Arenaria digyna</i>	<i>Festuca rigescens</i>	<i>Peperomia andin a</i>	<i>Azorella biloba</i>
<i>Bidens andicola</i>	<i>Gentianella dolichopoda</i>		<i>Azorella diapensioides</i>
<i>Bromus catharticus</i>	<i>Isoetes andicola</i>		<i>Baccharis alpina</i>
<i>Calamagrostis minima</i>	<i>Lucilia kunthiana</i>		<i>Belloa piptolepis</i>
<i>Calamagrostis rigescens</i>	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>		<i>Cerastium consanguineum</i>
<i>Carex bonplandii</i>	<i>Werneria nubigena</i>		<i>Cerastium danguyi</i>
<i>Gentiana sedifolia</i>			<i>Cotula mexicana</i>
<i>Geranium sessiliflorum</i>			<i>Cyperus andinus</i>
<i>Gnaphalium purpureum</i>			<i>Luzula racemosa</i>
<i>Hypochaeris sessiliflora</i>			<i>Oenothera multicaulis</i>
<i>Hypochaeris taraxacoides</i>			<i>Oritrophium limnophilum</i>
<i>Hypsela reniformis</i>			<i>Oxalis sp. cf oreocharis</i>
<i>Juncus ebracteatus</i>			<i>Paranephelium uniflorum</i>
<i>Lachemilla barbata</i>			<i>Plagiobothrys scouleri</i>
<i>Lachemilla pinnata</i>			<i>Plantago lamprophylla</i>
<i>Lysipomia muscoides</i>			<i>Pycnophyllum bryoide s</i>
<i>Muhlenbergia peruviana</i>			<i>Ranunculus peruvianus</i>
<i>Myrosmodes paludosa</i>			<i>Senecio macrorrhizus</i>
<i>Novenia acaulis</i>			<i>Stipa mucronata</i>
<i>Oreomyrrhis andicola</i>			<i>Trifolium repens</i>
<i>Phylloscirpus acaulis</i>			<i>Werneria pygmaea</i>
<i>Plantago rigida</i>			
<i>Plantago tubulosa</i>			
<i>Poa aequigluma</i>			
<i>Werneria caespitosa</i>			
<i>Zameioscirpus muticus</i>			

La riqueza específica para cada tipo de vegetación se muestran en el cuadro 8, los tipos de vegetación del bofedal muestran valores diferentes a la riqueza de especies, la vegetación de borde muestra la mayor riqueza específica con 64 especies, los valores menores se registra en la vegetación mésica y vegetación hidromórfica que reportan valores de 46 y 56 especies respectivamente, estos resultados se encuentran asociados a la presencia de especies dominantes que presentan mayor cobertura vegetal como se pudo observar en la vegetación hidromórfica y vegetación mésica.

**Cuadro 8. Riqueza de especies (S) para los tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

TIPOS DE VEGETACIÓN	Bofedal Minas Corral	Vegetación hidromórfica	Vegetación mésica	Vegetación de borde
Riqueza específica (S)	85	56	46	64

Al comparar la similitud de la vegetación en términos de composición florística entre los diferentes tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral, se puede apreciar que los índices de similitud de Jaccard (Cuadro 9) muestran similitudes por encima del 60% para la vegetación hidromórfica y vegetación mésica, compartiendo 39 especies en común, la vegetación de borde muestra una similitud de 45% con la vegetación hidromórfica con 37 especies en común, y con la vegetación mésica muestra una menor similitud de 41% con 32 especies compartidas.

Las especies compartidas y que se pueden encontrar en los tres tipos de vegetación son 27 especies, siendo especies comunes en la vegetación hidromórfica, vegetación mésica y vegetación de borde, se puede asumir que estas especies son tolerables a rangos amplios de profundidad de napa freática, siendo indistinta su presencia en suelos saturados y poco saturados de agua.

**Cuadro 9. Valores de similitud de Jaccard (J) de la composición florística entre tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Tipo de vegetación	Vegetación hidromórfica		Vegetación mésica		Vegetación de borde	
	Índice de similitud	Especies comunes	Índice de similitud	Especies comunes	Índice de similitud	Especies comunes
Vegetación hidromórfica	1					
Vegetación mésica	0.619	39	1			
Vegetación de borde	0.446	37	0.410	32	1	
Especies comunes				27		

La capacidad de carga estimada para el bofedal y para cada tipo de vegetación en el bofedal se muestra en el cuadro 10, donde se puede apreciar que la condición del bofedal es buena, que al ser llevada a la tabla de carga animal recomendada por condición de pastizal nativo le corresponde 2 UA alpaca/año/ha, sobre la base del puntaje de la condición del bofedal la vegetación hidromórfica presenta mayores valores de capacidad de carga en comparación a la vegetación de borde.

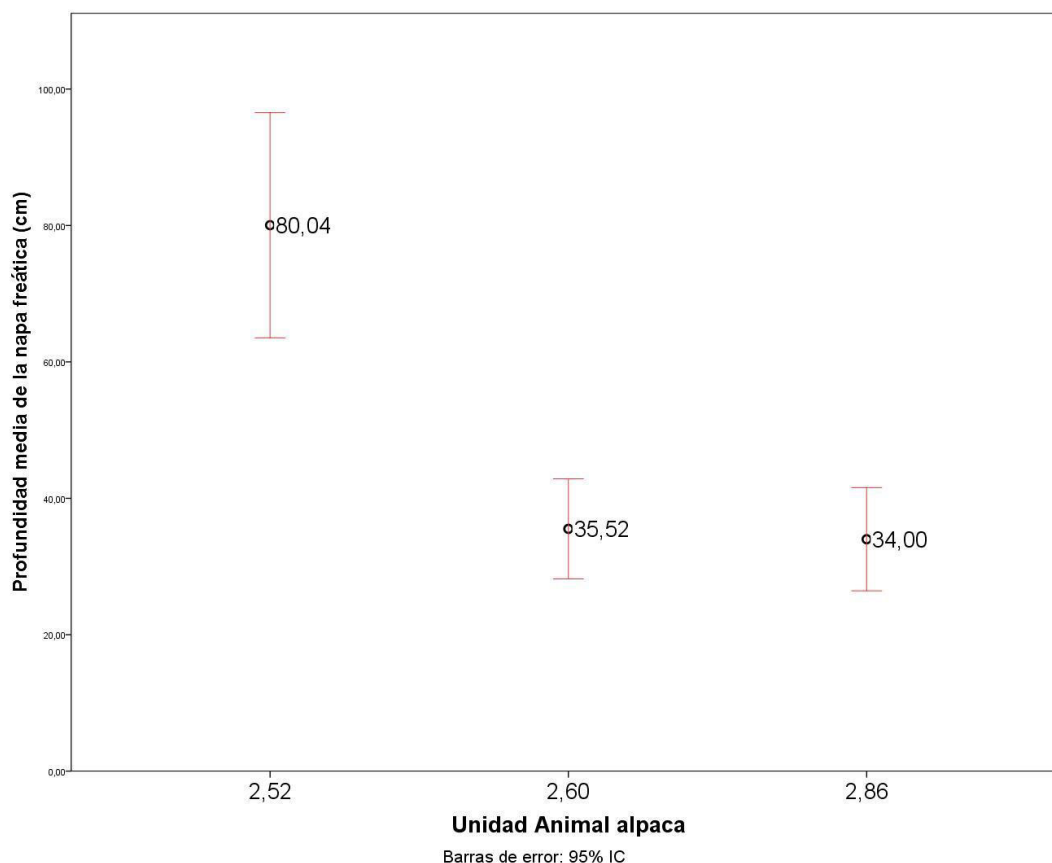
**Cuadro 10. Capacidad de carga del bofedal en UAalpaca en tres tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

TIPO DE VEGETACIÓN	Bofedal Minas Corral	Vegetación hidromórfica	Vegetación mésica	Vegetación de borde
Número de especies	85	56	46	64
Especies deseables (%D)	65.5	71.2	58.0	59.4
Especies poco deseables (%PD)	18.4	15.7	27.4	14.1
Especies indeseables (%I)	16.0	13.1	26.5	26.5
Índice forrajero (%IF)	84.0	86.9	85.4	73.5
Cobertura vegetal (%ICV)	95.9	96.7	96.4	93.0
Índice de vigorosidad (%IV)	50.0	50.0	50.0	50.0
Puntaje	73.7	77.3	70.4	68.0
Condición del bofedal	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Carga animal UAalpaca/ha/año	2	2	2	2
Carga animal UAalpaca/ha/año*	2.73	2.86	2.6	2.52

\* Asumiendo 3.7 UAalpaca para el puntaje de 100%. Fuente: Gennin y Alzérreca (2006)

Los tipos de vegetación registran valores diferentes de Unidad Animal alpaca que se encuentra relacionados con el nivel de la profundidad freática (Figura 16), estos resultados en términos de los valores medios de la profundidad de la napa freática en relación a la capacidad de carga animal muestran que la vegetación de borde presenta 2.52 UAalpaca/ha/año en profundidades medias de 80.04 cm siendo mayores a los otros tipos de vegetación, la vegetación hidromórfica presenta 2.86 UAalpaca/ha/año en áreas con profundidad media de la napa freática de 34.00 cm, siendo relativamente cercana la profundidad media de la napa freática de la vegetación mésica que registra 35.52 cm para una capacidad de carga de 2.60 UAalpaca/ha/año, resultados que coinciden con la prueba estadística de la prueba de hipótesis (Figura 9). Los resultados

muestran que existe una relación inversa, cuanto mayor es la profundidad de la napa freática menor es la capacidad de carga.



**Figura 16. Gráfico de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática con relación a la capacidad de carga Unidad Animal alpaca del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

#### **4.3.2. Medida de la napa freática**

Los resultados sobre la profundidad de la napa freática muestran que los pozos (puntos de observación) tienen diferentes profundidades de napa freática y nivel piezométrico (Figura 17 y Figura 18) variando según la ubicación espacial de los piezómetros y los meses del año, la mayoría de los pozos registra valores mínimos de profundidad de la napa freática cercano al nivel de la superficie del suelo, posiblemente porque los registros corresponden a los meses de lluvia, algunos de los pozos a pesar de encontrarse en época de lluvia registran

profundidades mínimas de 142 cm (pozo 2) y 113 cm (pozo 18) obedeciendo a la disposición espacial de los pozos en el bofedal, los pozos 2 y 18 se hallan en el borde del bofedal al igual que los pozos 1, 7 y 14, que si bien es cierto sus valores mínimos son cercanos a la superficie del suelo, sus valores extremos máximos con respecto a aquellas pozas que se encuentra en la parte media del bofedal, presenta extremos de la profundidad de la napa freática. Otro detalle que se observa en la figura 18 es la ubicación de las pozas con respecto a las cotas de la superficie del bofedal, la cotas con mayor altitud muestran generalmente profundidades con valores de nivel piezométrico más bajos con respecto a las pozas que se encuentran en cotas de menor altitud que registran profundidades de napa freática muy cercanos a la media del nivel piezométrico promedio. Los valores extremos de la napa freática y nivel piezométrico están relacionados con la disposición espacial de las pozas en el bofedal. El promedio del nivel piezométrico describe teóricamente la separación de dos zonas, una que corresponde a la zona saturada, la que se encuentra por debajo de la línea del nivel piezométrico y la otra por encima que corresponde a la zona no saturada, en ecología de humedales se describe a la zona no saturada como Acrotelmo, capa activa superior, generalmente inferior a un metro, en donde “las condiciones de humedad varían en forma muy dinámica. Debajo de ella se encuentra la capa inerte inferior llamada Catotelmo que corresponde a la zona saturada, que alcanza mayor espesor, pero con mucho menor capacidad de intercambio de humedad” (Iturraspe & Roig, 2000).



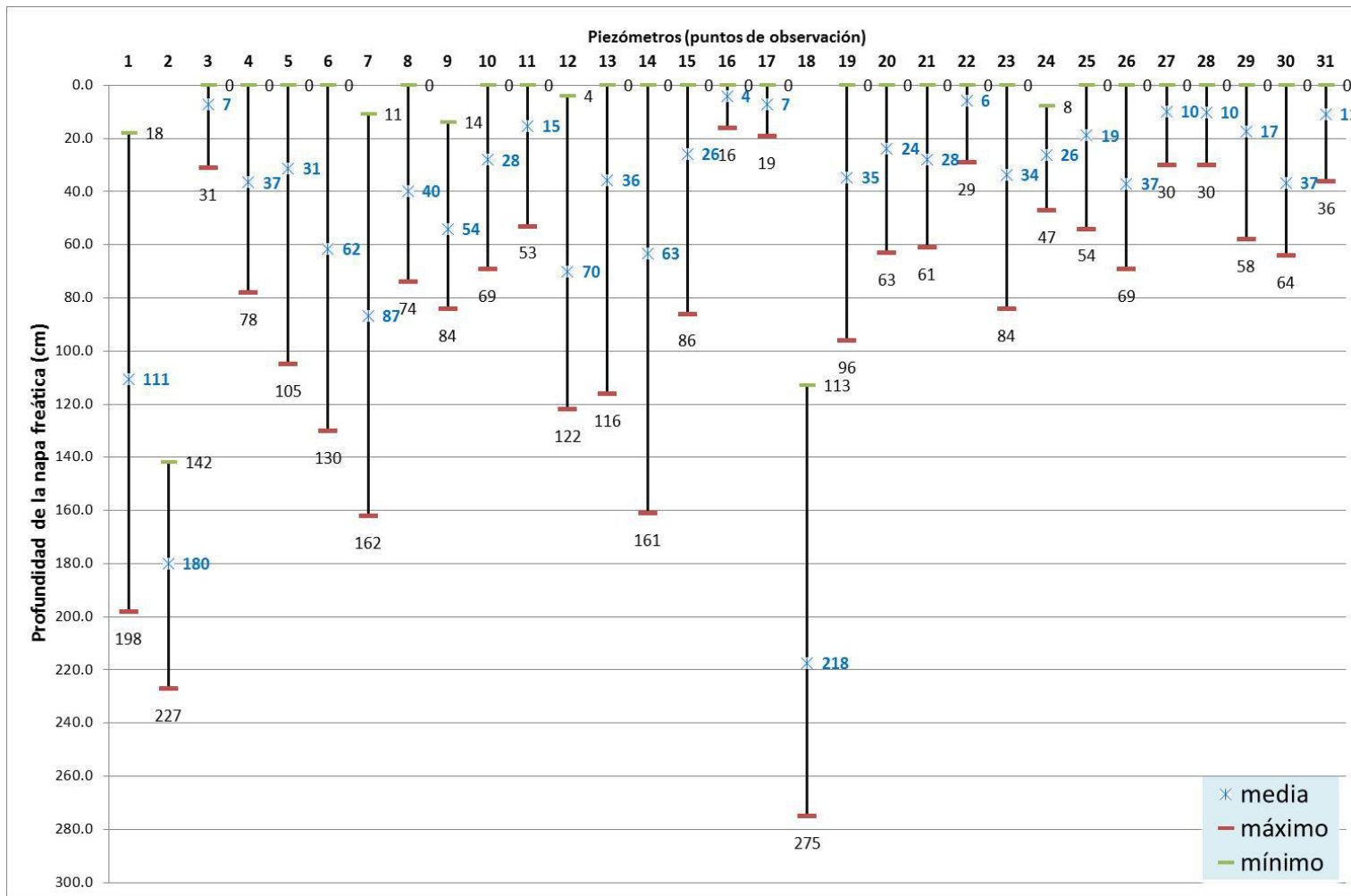
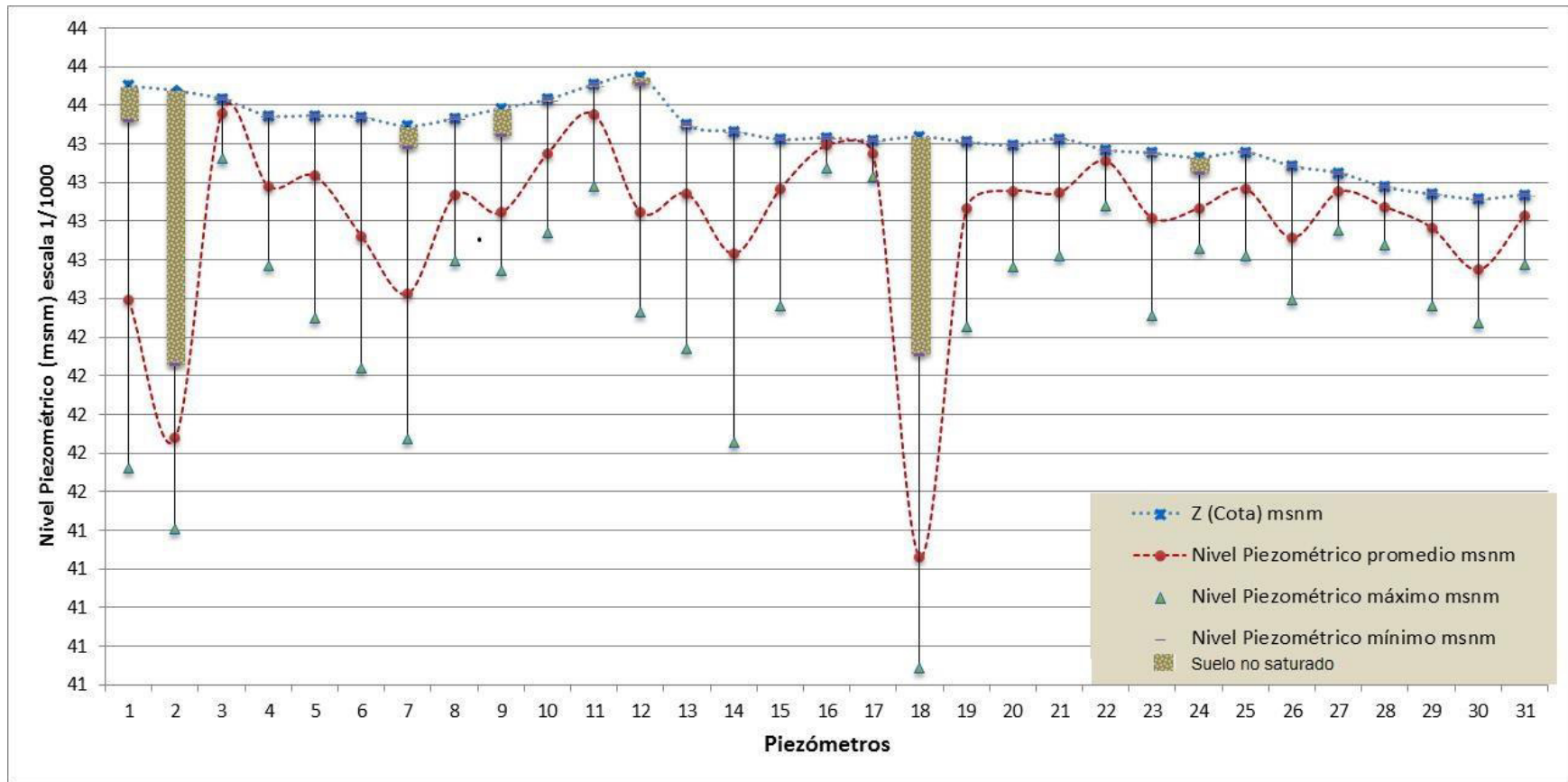
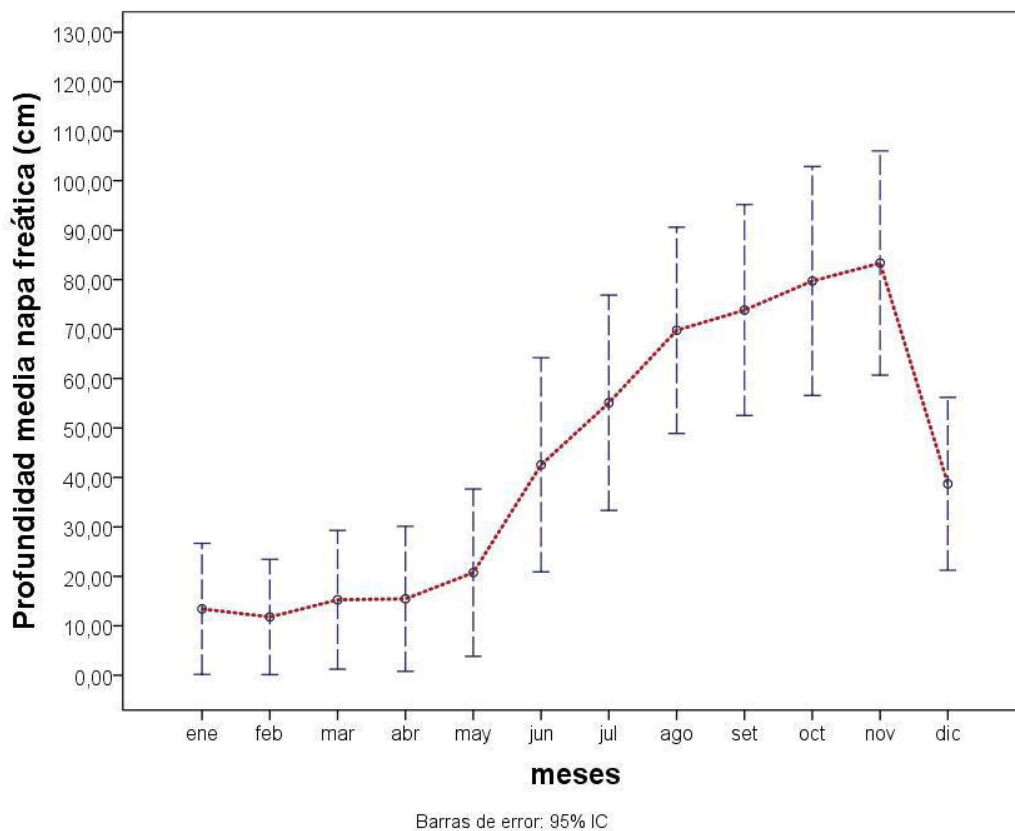


Figura 17. Profundidad media, máxima y mínima de la napa freática en los 31 piezómetros durante el año 2015 registrado en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.



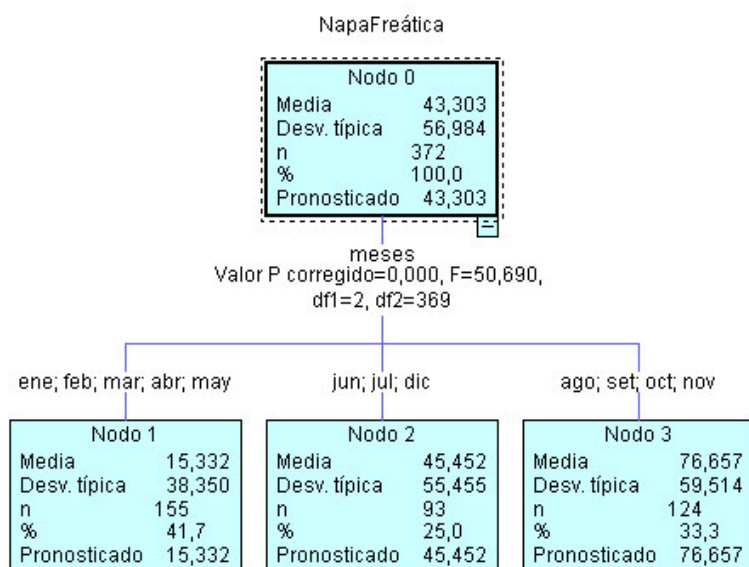
**Figura 18.** Nivel piezométrico promedio, máxima y mínima registrado durante el año 2015 en relación a la cota del nivel del suelo del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

En la figura 19 se observa que las profundidades medias de la napa freática muestran variación según los meses del año con sus máximas y mínimas (IC 95%) durante los meses del año 2015, los menores valores de las profundidades medias de la napa freática se encuentran en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo con valores mínimos en cuanto a la superficie del suelo, los valores medios, de máxima y mínima se incrementan a medida que va transcurriendo los meses con relación a la estacionalidad de las lluvias, el valor máximo de la napa freática se encuentra en el mes de noviembre para luego disminuir dicha profundidad para el mes de diciembre con el inicio de las lluvias, siendo su punto de menor profundidad media el mes de febrero coincidiendo con la época de lluvia.



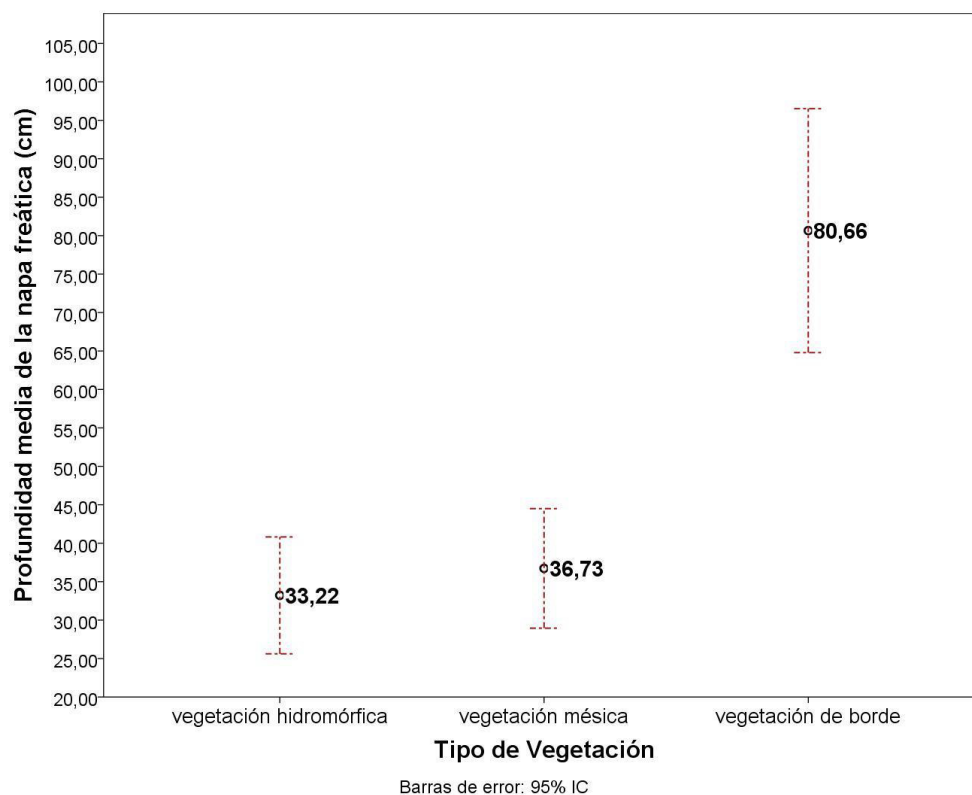
**Figura 19. Gráfico de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática registrada en el año 2015 en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Los datos de profundidad de la napa freática al ser agrupados por medio del diagrama del árbol de decisiones por el método CHAID muestra tres grupos de meses diferenciados por la media de la profundidad de la napa freática (Figura 20), estos tres grupos están relacionados con las épocas de precipitación durante el año, época lluviosa (enero, febrero, marzo, abril, mayo), época intermedia (junio, julio, diciembre) y época seca (agosto, setiembre, octubre, noviembre) cuya variación con sus mínimas y máximas y valor promedio de la napa freática se relacionan con los meses, donde las profundidades medias de la napa freática son muy similares en los meses de la época de lluvia y difieren de la época intermedia y seca, esta última con profundidades máximas de profundidad de napa freáticas que corresponde a los meses de la época seca (agosto, setiembre, octubre y noviembre), en octubre y noviembre se ha observado en el bofedal Minas Corral la mayor presencia de ganado alpaca e incluso se observa la *Lama glama* “llama” y algunos ejemplares o pequeñas tropillas de *Vicugna vicugna* “vicuña”, posiblemente a falta de forraje verde o por necesidad de agua, que en estos sitios del bofedal se almacenan en pequeñas pozas y se mantiene durante todo el año.



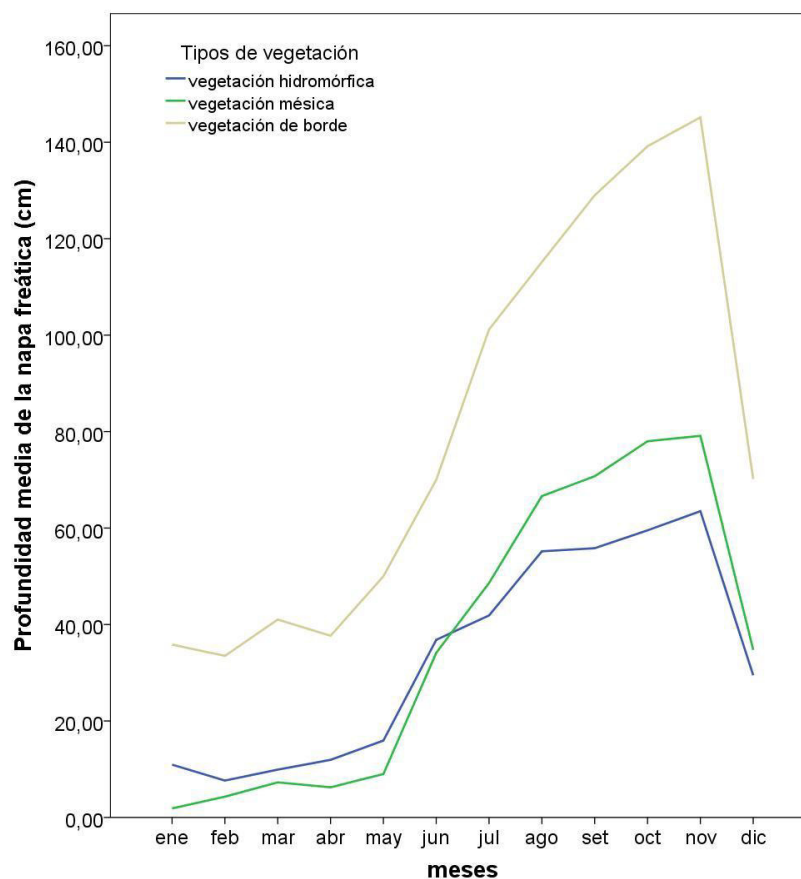
**Figura 20. Diagrama del árbol para la agrupación de los meses del año 2015 con relación a la profundidad del nivel freático del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

La figura 21 muestra la profundidad media de la napa freática con relación a los tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral, se observa que la zona con vegetación de borde muestra valores promedios mayores de profundidad (80.66 cm) con respecto a la vegetación de hidromórfica que presenta el menor valor de 33.22 cm, siendo relativamente mayor en la vegetación mésica (36.73 cm), siendo los valores medios de la profundidad de la napa freática diferente para cada tipo de vegetación.



**Figura 21. Gráfica de medias (IC 95%) de la profundidad de la napa freática en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Al observar la variación de la profundidad de la napa freática durante el año 2015 en el bofedal Minas Corral con relación a los tres tipos de vegetación, se observa que la profundidad de la napa freática se incrementa según los meses del año según la temporalidad de las lluvias (épocas de precipitación) siendo diferente en cada tipo de vegetación, las que registra mayor profundidad de napa freática es la vegetación de borde, mientras que la vegetación hidromórfica y mésica registran valores según los meses del año, la vegetación mésica durante la época de lluvia registra menores profundidades que la vegetación hidromórfica, muy contrariamente a la época seca, donde la profundidad media del nivel freático es menor en la hidromórfica (Figura 22), posiblemente esta variación obedece a que cada tipo de vegetación presenta sus propia características de suelo y cobertura vegetal.

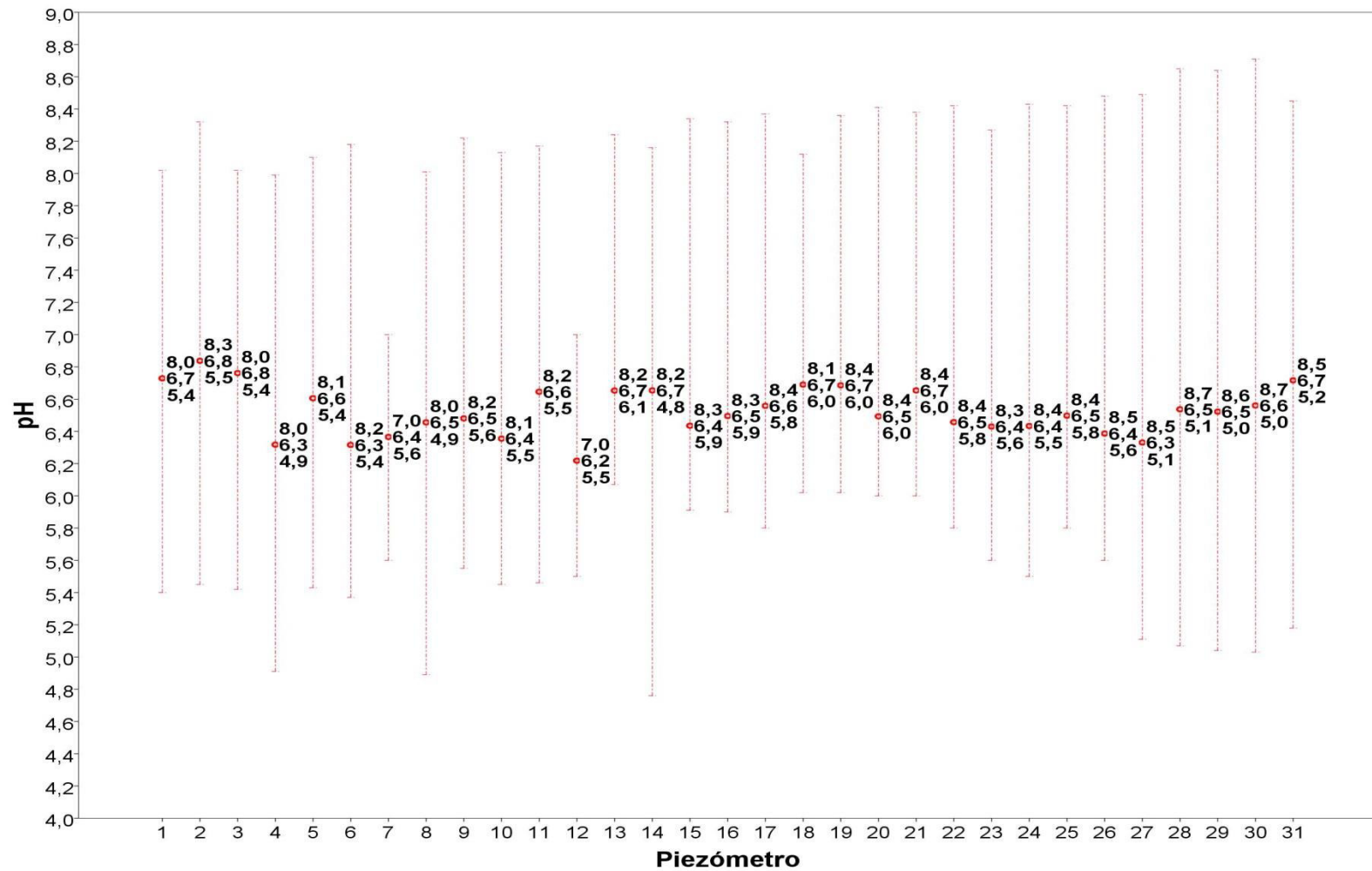


**Figura 22. Variación de la profundidad media de la napa freática durante el año 2015 en los tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

### **4.3.3. Características químicas del agua de la napa freática**

Los valores de pH del agua subterránea medidos en los piezómetros muestran una variación de 4.8 a 8.7 según la ubicación del piezómetro (Figura 23), mostrando valores de pH que van desde fuertemente ácido (4.5-5.5) a básico (7.9-8.4) según la clasificación de los suelos del valor de pH (USDA, 1999), sus valores promedios en cada pozo se encuentran dentro de la categoría neutro (6.6-7.3), esta variación obedece a la temporalidad que se muestran teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos y promedio del pH según los meses (Figura 24), muestran categorías similares de fuertemente ácido a básico y en promedio se acercan a pH neutros, cuyos valores guardan relación a la época de precipitación en el bofedal, los valores de pH alcalino (8.17) se encuentra en el mes de agosto, los menores valores de pH, ligeramente ácidos (6.01) se encuentran en el mes de febrero, rango de variación facultado por la precipitación, donde el mes de setiembre muestra valores de pH como si fuera de época lluvia, esta variación posiblemente obedece a las lluvias esporádicas que se presentan como inicio de la época de lluvia.

Al igual que el pH la conductividad eléctrica registra resultados con mucha variabilidad espacial como se muestra en los piezómetros (Figura 25) y una variación temporal que se muestra con relación a los meses (Figura 26), a pesar de existir una variación, los valores promedios se encuentran dentro de la categoría de Clase 1 consideradas como de baja salinidad, donde no se espera efectos dañinos sobre la planta y los suelos (COMPO, 2004). Los valores de conductividad eléctrica es diferente en cada poza, los valores extremos van desde 0 a 378 uS/cm, las pozas 1,14, 26 y 27 registran valores extremos superiores a diferencia de las demás cuyos valores no son tan distantes de la media. También se observa que los valores de conductividad eléctrica varían mensualmente, fluctuando de mes a mes sin una tendencia relacionada con la precipitación, en consecuencia, parece no haber una relación directa con las épocas de precipitación sino con el movimiento del agua en el perfil del suelo.



**Figura 23. Valores medio, máximo y mínimo de pH del agua de la napa freática por piezómetro del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**



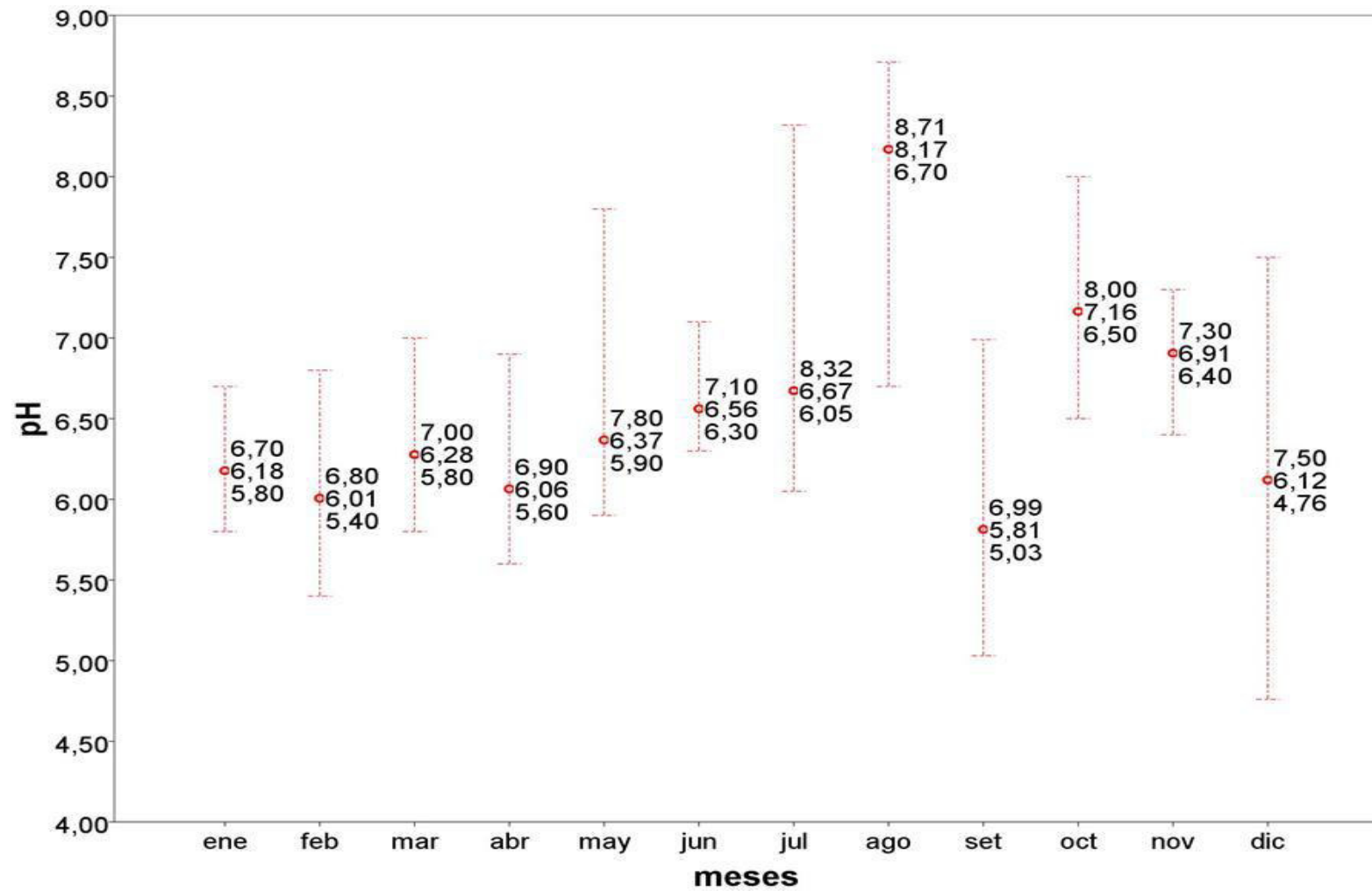


Figura 24. Valores medio, máximo y mínimo de pH del agua de la napa freática por meses del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

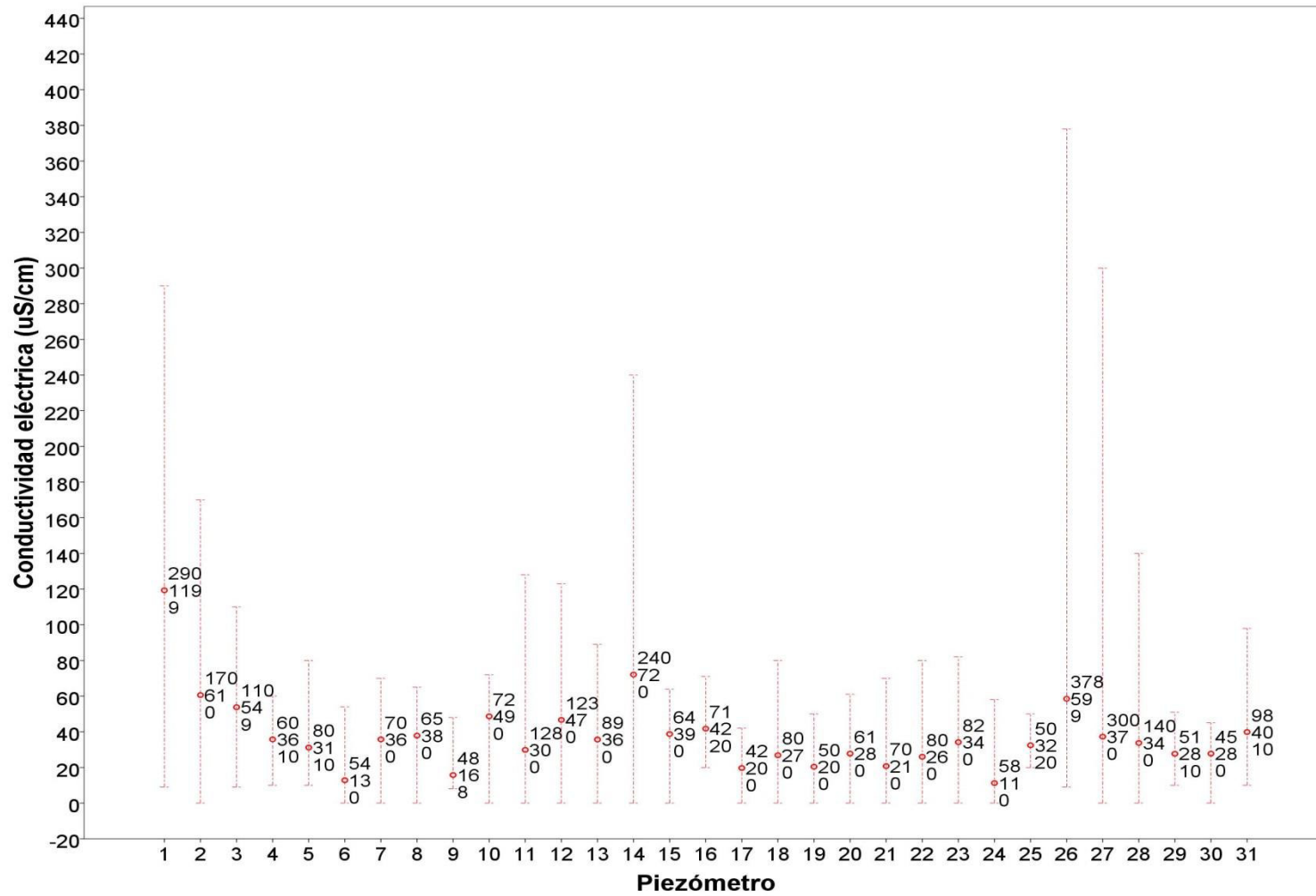
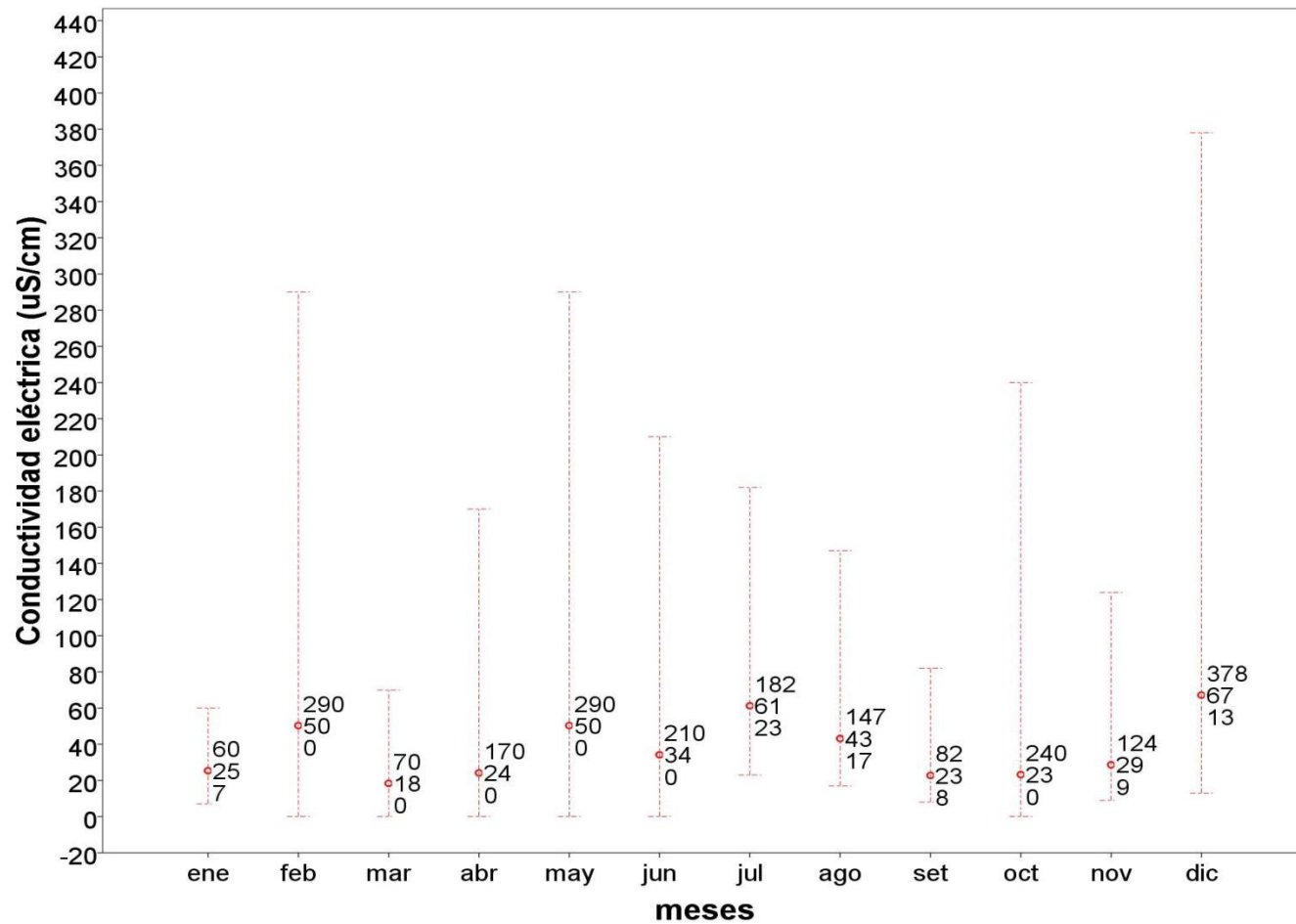
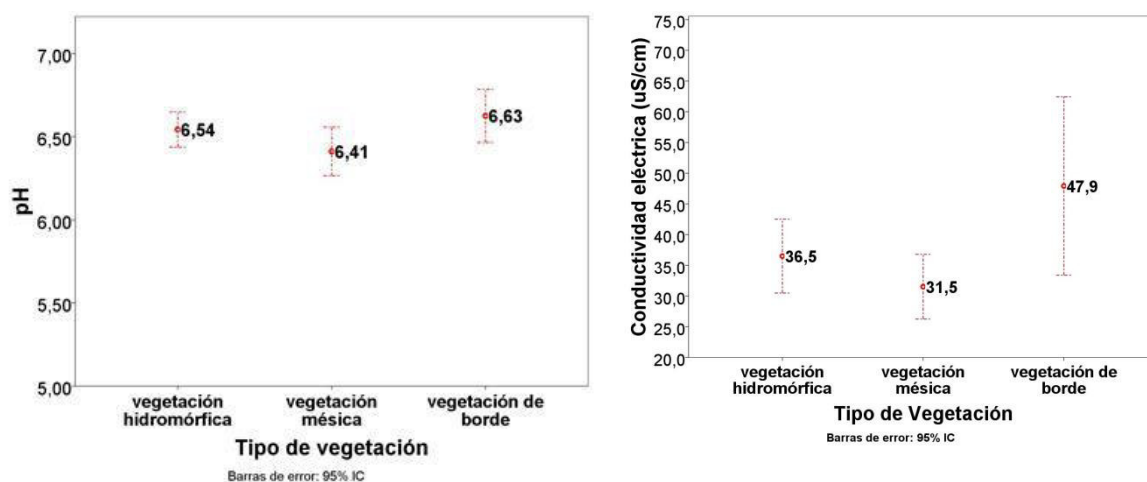


Figura 25. Valores medio, máximo y mínimo de la conductividad eléctrica del agua de la napa freática por piezómetros del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.



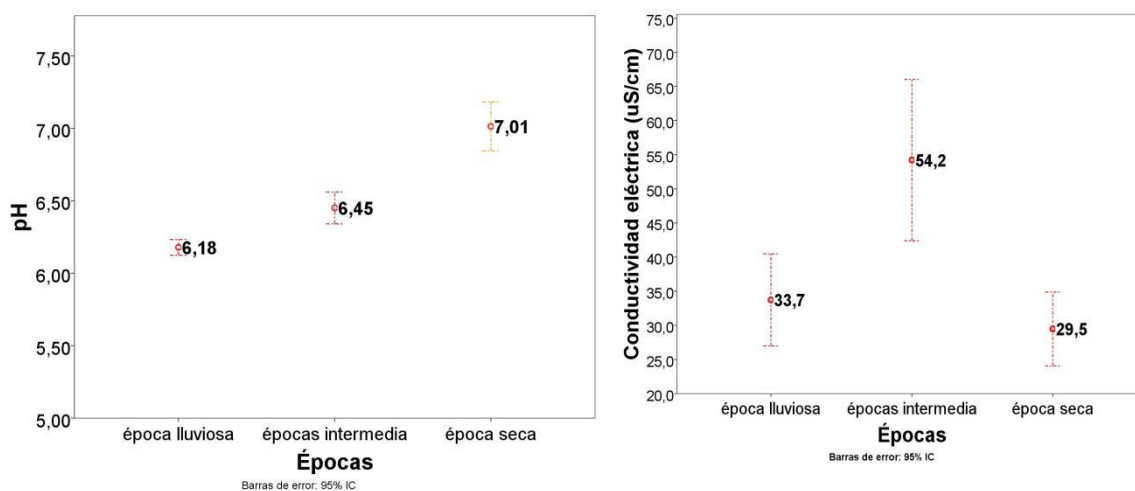
**Figura 26.** Valores medio, máximo y mínimo de la conductividad eléctrica del agua de la napa freática por meses del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

Los valores de pH al ser agrupados según los tres tipos de vegetación del bofedal, muestran que la vegetación hidromórfica y mélica presentan promedios de agua ligeramente ácidos (6.54 y 6.41 respectivamente), a diferencia de la vegetación de borde que presenta valores promedios en la categoría de neutro (6.63), el agua donde se halla los tres tipos de vegetación muestran valores muy cercanos de pH (Figura 27), mientras que los valores más altos de conductividad eléctrica se registra en la vegetación de borde (47.92 uS/cm) y los valores bajos en la vegetación mélica (31.52 uS/cm) y un tanto mayor en la hidromórfica (36.50 uS/cm) como se muestra en la figura 30. En todos los casos el tipo de vegetación de borde presenta valores relativamente más altos de pH y conductividad eléctrica en comparación a la vegetación hidromórfica y mélica.



**Figura 27. Gráfico de medias (IC 95%) de pH y conductividad eléctrica en tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

El pH al ser agrupado por épocas del año, muestra valores que va de ligeramente ácido con valores más bajos en la época lluviosa (6.18), seguida por la época intermedia (6.45) y pH neutro como los valores más altos en la época seca (7.1), se aprecia que los valores de pH disminuyen en la estación de lluvia y se incrementan en la estación seca (Figura 28). La conductividad eléctrica al ser agrupadas según la época del año, muestra que los menores valores se registra en la época seca (29.47 uS/cm), muy contrariamente a la relación que mantenía el pH, la conductividad eléctrica de la época intermedia es la más alta con 54.22 uS/cm, la que presenta menor conductividad eléctrica es la época de lluvia (Figura 28).



**Figura 28.** Gráfico de medias (IC 95%) de pH y conductividad eléctrica según épocas del año en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

#### **4.3.4. Características físicas del suelo del bofedal**

Las características físicas del suelo muestran valores diferenciados para cada calicata y horizonte en el perfil del suelo, los valores de granulometría, materia orgánica, densidad seca, porosidad efectiva, humedad gravimétrica varían con relación a la profundidad del suelo (Cuadro 11), los resultados de la clase textural es diferente en las 5 calicatas, a una misma profundidad la clase textural es diferente, variando de franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arenoso y arena franca. Los valores de materia orgánica son mayores cuando se hallan cercanos al nivel del suelo, disminuyendo a medida que se incrementa la profundidad, lo mismo sucede con los valores de humedad gravimétrica, porosidad y saturación relativa, siendo relativamente distinta en la calicata 3, cuyos valores a los 30 cm de profundidad del suelo se incrementan y luego vuelven a disminuir y comportarse como en las demás calicatas.

Las características físicas del suelo del bofedal Minas Corral muestran comportamientos diferentes en los tres tipos de vegetación, al ubicar las calicatas 2 y 5 en el bofedal estas se encuentran sobre la vegetación hidromórfica, mientras que la calicata 1 y 4 sobre la vegetación méstica y la calicata 3 sobre la vegetación de borde. La figura 29 nos muestra que las características físicas de saturación relativa, humedad gravimétrica, materia orgánica y permeabilidad del suelo del bofedal Minas Corral obedece a un patrón de distribución de sus valores en el perfil del suelo con relación a la profundidad que es característico a cada tipo de suelo donde se encuentra un tipo de vegetación.

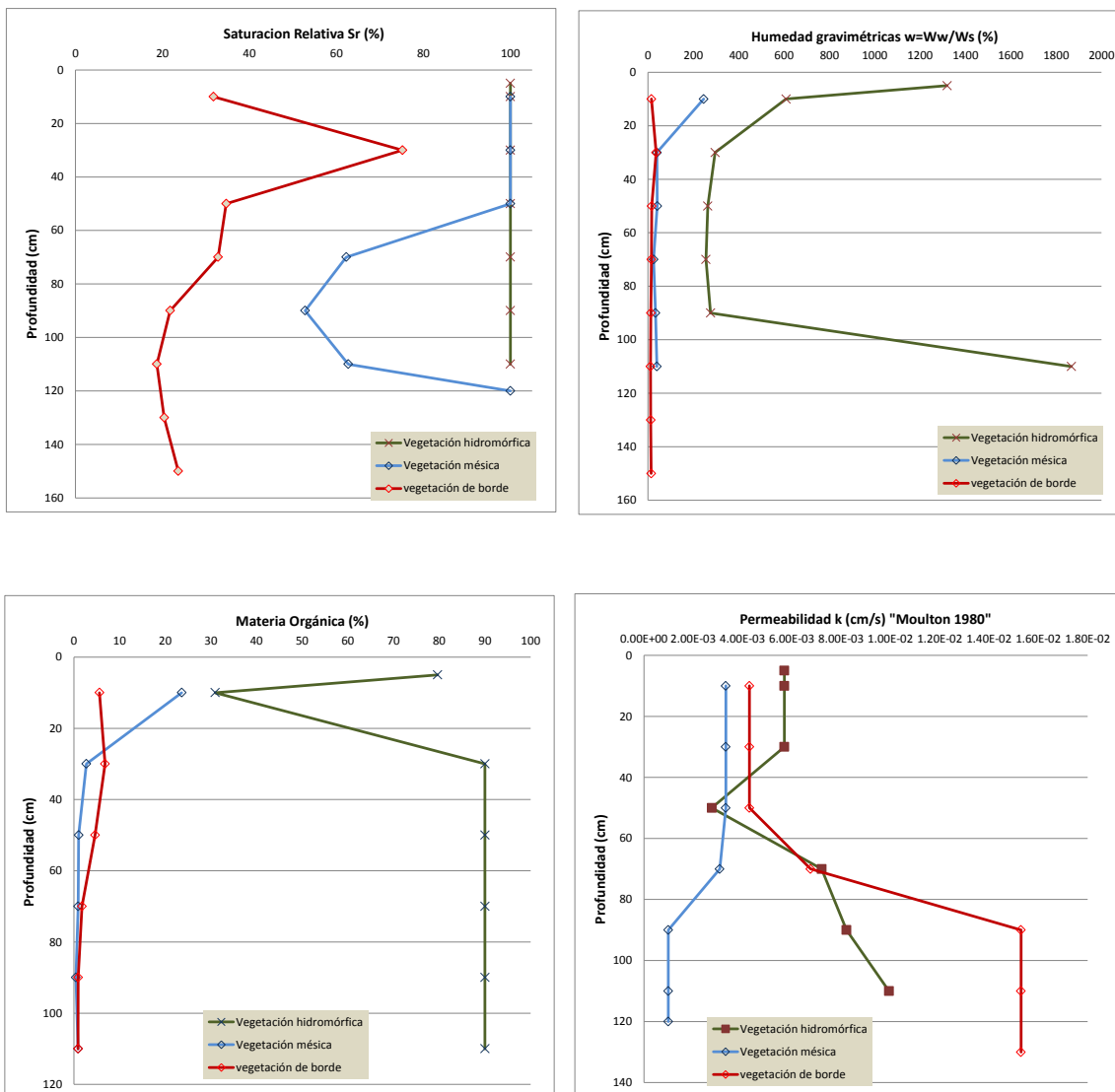
La permeabilidad de los suelos calculados a partir de la fórmula empírica de Moulton, permiten clasificar de modo general los suelos del bofedal Minas Corral por su permeabilidad como suelos de grado de permeabilidad alta, es decir, de drenaje bueno. Se observa que los diferentes horizontes con relación a la profundidad del suelo varían en permeabilidad, además la permeabilidad es diferente en los suelos que sostienen los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal, los suelos de la vegetación hidromórfica presenta valores (cuadro

12) que permiten su clasificación como suelos de grado de permeabilidad alta ( $10^{-2} - 10^{-4}$  cm/s), a diferencia de los suelos de la vegetación de borde y mésica que muestran variación notoria de la permeabilidad según su profundidad, el suelo de la vegetación mésica presenta grado de permeabilidad alta cercana a la superficie del suelo ( $10^{-3}$  cm /s), tendiente a una permeabilidad moderada a partir de los 90 cm de profundidad ( $10^{-4}$  cm /s), lo que indica que el agua sub superficial cercana a la superficie del suelo recorre más rápido en comparación con la que se encuentra por debajo, situación contraria ocurre en el suelo de la vegetación de borde ( $10^{-3} - 10^{-2}$  cm /s), a nivel de la superficie del suelo la permeabilidad es alta, aumentando la permeabilidad a medida que se incrementa la profundidad, es decir, el agua drena con mayor facilidad a profundidades mayores de 90 cm. Los valores de permeabilidad guardan una relación con los datos de la clase textural, los suelos de clase textural franco arcilloso presentan menor permeabilidad que el suelo franco arenoso y arena franca (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Características físicas del suelo registrado en cinco calicatas en el bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

Calicata 1													
DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552885m, Norte:8531630m.													
profundidad cm	Estrato	Nivel Freatico (cm) Setiembre	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Materia orgánica (%)	Humedad Gravimetrica w=Ww/Ws (%)	Densidad aparente (tn/m3)	Gravedad Especifica Gs	Porosidad (n %)	Saturación Relativa (Sr%)	Permeabilidad k (cm/s) "Moulton 1980"
10	E1		36.1	29.8	34.1	Franco arcilloso	23.58	245.4	0.7	2.17	68	100	3.32E-03
30	E1		66.8	14.1	19.1	franco arenoso	2.71	39.6	0.7	2.17	68	100	3.32E-03
50	E1		76.1	12.8	11.1	franco arenoso	1.03	41	0.7	2.17	68	100	3.32E-03
70	E2		74.8	14.1	11.1	franco arenoso	0.91	24.9	0.88	2.17	59.33	62.25	3.07E-03
90	E3		70.1	14.8	15.1	franco arenoso	0.42	33	1.68	2.66	36.85	52.8	9.87E-04
110	E3		72.1	12.8	15.1	franco arenoso	0.9	39.2	1.68	2.66	36.85	62.72	9.87E-04
120		120							1.68	2.66	36.85	100	9.87E-04
Calicata 2													
DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552971m, Norte:8531580m.													
profundidad cm	Estrato	Nivel Freatico (cm) Setiembre	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Materia orgánica %	Humedad Gravimetrica w=Ww/Ws (%)	Densidad aparente (tn/m3)	Gravedad Especifica Gs	Porosidad (n %)	Saturación Relativa (Sr%)	Permeabilidad k (cm/s) "Moulton 1980"
5	E1					orgánico	79.63	1319.5	0.23	2.17	89.22	100	5.69E-03
10	E1					orgánico	30.92	609.2	0.23	2.17	89.22	100	5.69E-03
30	E1					orgánico	90	296.3	0.23	2.17	89.22	100	5.69E-03
50	E2					orgánico	90	263.8	0.77	2.17	64.52	100	2.75E-03
70	E3					orgánico	90	255.6	0.23	2.17	89.22	100	7.21E-03
90	E4					orgánico	90	276	0.23	2.17	89.22	100	8.21E-03
110	E5	100				orgánico	90	1868	0.23	2.17	89.22	100	9.94E-03
Calicata 3													
DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:553065m, Norte:8531518m.													
profundidad cm	Estrato	Nivel Freatico (cm) Setiembre	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Materia orgánica %	Humedad Gravimetrica w=Ww/Ws (%)	Densidad aparente (tn/m3)	Gravedad Especifica Gs	Porosidad (n %)	Saturación Relativa (Sr%)	Permeabilidad k (cm/s) "Moulton 1980"
10	E1		80.1	4.8	15.1	franco arenoso	5.59	15.1	1.25	2.67	53.07	31.71	4.28E-03
30	E1		68.1	14.8	17.1	franco arenoso	6.8	35.8	1.25	2.67	53.07	75.18	4.28E-03
50	E1		84.1	4.8	11.1	Arena franca	4.63	16.5	1.25	2.67	53.07	34.65	4.28E-03
70	E2		80.1	8.8	11.1	franco arenoso	1.75	14.9	1.2	2.58	53.5	32.78	6.76E-03
90	E3		84.1	6.8	9.1	Arena franca	0.91	12.8	1.6	2.71	41.06	21.76	1.53E-02
110	E3		84.1	0.8	15.1	Arena franca	0.9	11	1.6	2.71	41.06	18.7	1.53E-02
130	E3	No observado						12	1.6	2.71	41.06	20.4	1.53E-02
150	E3	observado						13.9	1.6	2.71	41.06	23.63	1.53E-02
Calicata 4													
DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552778m, Norte:8531372m.													
profundidad cm	Estrato	Nivel Freatico (cm) Setiembre	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Materia orgánica %	Humedad Gravimetrica w=Ww/Ws (%)	Densidad aparente (tn/m3)	Gravedad Especifica Gs	Porosidad (n %)	Saturación Relativa (Sr%)	Permeabilidad k (cm/s) "Moulton 1980"
10	E1		52.1	24.8	23.1	Franco arcillo arenoso	14.8	77.8	0.77	2.17	64.73	100	3.32E-03
30	E1		64.1	14.8	21.1	Franco arcillo arenoso	11.8	54.3	0.77	2.17	64.73	100	3.32E-03
50	E1		82.1	8.8	9.1	Arena franca	1.15	19.4	1.22	2.17	64.73	42.68	3.32E-03
70	E2		80.1	10.8	9.1	Arena franca	0.55	19.1	1.22	2.67	54.31	42.02	1.67E-02
90	E2		80.1	7.3	12.6	franco arenoso	0.54	19.6	1.22	2.67	54.31	43.12	1.67E-02
110	E2		84.1	6.8	9.1	Arena franca	0.54	25.8	1.22	2.67	54.31	56.76	1.67E-02
140	E2	140							1.22	2.67	54.31	100	1.67E-02
Calicata 5													
DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:553658m, Norte:8531572m.													
profundidad cm	Estrato	Nivel Freatico (cm) Setiembre	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Materia orgánica %	Humedad Gravimetrica w=Ww/Ws (%)	Densidad aparente (tn/m3)	Gravedad Especifica Gs	Porosidad (n %)	Saturación Relativa (Sr%)	Permeabilidad k (cm/s) "Moulton 1980"
10	E1		60.1	22.3	17.6	franco arenoso	87.21	1316.6	0.23	2.17	89.32	100	9.48E-03
30	E1		52.1	17.8	30.1	Franco arcillo arenoso	58.59	553.2	0.23	2.17	89.32	100	9.48E-03
50	E2		42.8	20.5	36.7	franco arenoso	59.56	652.9	0.23	2.17	89.32	100	9.82E-03
70	E2					orgánico	69.66	1149.2	0.23	2.17	89.32	100	9.82E-03
90	E3					orgánico	67.97	1526.8	0.23	2.17	89.32	100	7.55E-03
110	E3					orgánico	68.69	943	0.23	2.17	89.32	100	7.55E-03
200	E3	200							0.23	2.17	89.32	100	7.55E-03





**Figura 29.** Comportamiento de las características del suelo de saturación relativa (%), humedad gravimétrica (%), materia orgánica (%) y permeabilidad (cm/s) según la profundidad del suelo en tres tipos de vegetación del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.

## CONCLUSIONES

1. El bofedal altoandino Minas Corral muestra que la profundidad de la napa freática está relacionada lineal y positivamente con la presencia de un tipo de vegetación ( $r=0,288$ ,  $p<0.05$ ), mientras que la relación de la profundidad de la napa freática con la capacidad de carga animal Unidad Animal alpaca (UAalpaca) es lineal e inversa, cuando aumenta la profundidad de la napa freática disminuye la capacidad de carga animal alpaca ( $r=-0,251$ ,  $p<0.05$ )
2. Los tres tipos de vegetación identificados en el bofedal Minas Corral; vegetación hidromórfica, vegetación méstica y la vegetación de borde presentan diferentes valores de profundidad de napa freática, los tipos de vegetación hidromórfica y vegetación méstica registran valores estadísticamente similares (15.22 cm y 22.50 cm respectivamente) siendo diferente a la profundidad de la napa freática de la vegetación de borde que registra 65.50 cm.
3. Las diferentes condiciones de carga animal UAalpaca identificados para el bofedal Minas Corral presentan diferentes valores de profundidad de napa freática, las condiciones de carga animal 2.60 y 2.86 UAalpaca ha/año registran profundidades de la napa freática estadísticamente similares de 18.50 cm y 15.50 cm respectivamente, mientras que la condición 2.52 UA alpaca ha/año presenta una profundidad de napa freática distinta y mayor de 62.00 cm.
4. La composición florística (riqueza de especies) del bofedal Minas Corral presenta una relación lineal positiva ( $r=0,363$ ,  $p<0.05$ ), el 13.2 % ( $r^2 = 0.132$ ) de la variabilidad de la riqueza de especies están relacionadas con la profundidad de la napa freática, cuanto mayor es la profundidad de la napa freática mayor es la riqueza de especies en el bofedal Minas Corral.
5. Los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son estadísticamente similares en cualquiera de los tres tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral, los valores promedios de pH y conductividad eléctrica respectivamente para la vegetación hidromórfica fue de 6.40 y 30

uS/cm, vegetación mésica de 6.30 y 24.50 uS/cm, y de la vegetación de borde 6.50 y 24.0 uS/cm.

6. Los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática durante el año, muestran valores muy variables (pH de 4.76 a 8.71 y CE de 0 a 378 uS/cm) condicionada con la temporalidad y las características espaciales del bofedal.
7. Las características de la textura del suelo, materia orgánica, humedad gravimétrica, densidad aparente, saturación relativa y permeabilidad del suelo se encuentran relacionadas y varían según la profundidad del perfil del suelo, cuyos valores son propios a cada tipo de vegetación identificada en el bofedal Minas Corral.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar realizando estudios en otros bofedales en la región y otras regiones del país que permitan caracterizar la dinámica ecológica vegetación-suelo-agua.
2. Realizar modelamientos matemáticos para analizar el comportamiento de la vegetación con relación al comportamiento del nivel freático espacial y temporal por medio de imágenes satelitales.
3. Realizar por parte de las universidades y el gobierno regional estudios de cambio en la composición florística por disminución de los caudales del régimen hidrogeológico para la identificación de especies sensibles al cambio climático, a fin de garantizar el funcionamiento y conservación de los servicios ecosistémicos que ofrecen los bofedales altoandinos.
4. Elaborar estudios sobre almacenamiento de volúmenes de agua subterránea por los bofedales y su relación con la siembra y cosecha de agua para ser incorporados en las políticas de conservación de los bofedales por el Ministerio de Agricultura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero-Rodríguez, M. y León, Y. (2016). Caracterización de una turbera de sphagnum L. asociada al bosque montano en mérida, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 39(2), 204-230.
- Ahumana, M. y Faúndez, L. (2009). *Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT)*. Santiago de Chile, Chile: Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
- Alegría, F. (2013). *Inventario y Uso Sostenible de Pastizales en la Zona colindante a los depositos de relavera de Ocroyoc- Comunidad San Antonio de Rancas - Pasco. (Tesis)*. Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Alzérreca, H. y Lara, R. (1988). Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. *Evaluación de praderas nativas en el Altiplano Central y Oeste del departamento de Oruro*. Oruro. Bolivia: Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR).
- Alzérreca, H., Luna, D., Prieto, G., Cardoz, A. y Céspedes, J. (2001). *Estudio de la capacidad de carga en bofedales para la cría de alpacas en el sistema TDPS - Bolivia*. La paz. Bolivia: Asociación Integral de Ganaderos en Camélidos de los Andes Altos (AIGACAA), Autoridad Binacional del Lago Titicaca.
- Alzérreca, H., Prieto, G., Laura, J., Luna, D. y Laguna, S. (2001). *Características y distribución de los bofedales en el ámbito Boliviano. Informe de Consultoría*. La Paz, Bolivia: Asociación Integral de Ganaderos en Camélidos de los Andes Altos (AIGACAA), Autoridad Binacional del lago Titicaca.
- Arely, P. y Ariel, L. (2014). *Vegetación en los Bofedales de Choquecota y Belén de Andamarca - Oruro*. La Paz, Bolivia: Helvetas Swiss Intercooperation., ed.
- Badii, M., Castillo, J. y Guillen, A. (2008). Tamaño óptimo de la muestra. *Innovaciones de Negocios*, 5(1), 53-65.
- Baiker, J. R. (2017). Estudiando y monitoreando parámetros hidrológicos-ecológicos claves para la futura adaptación basada en ecosistemas (abe) en un bofedal en el Santuario Nacional de Ampay (Apurímac). *Libro de*

*Resúmenes: I Congreso Peruano de Humedales* (pág. 30). Lima: Museo Historia Natural. UNMSM.

- Benavides, J. (2014). The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high-altitude peatlands in the Colombian tropical Andes. *Mires and Peat*, 15, 1-15.
- Canale, A., Salafia, A., Blanco, P. y Acotto, R. (2009). *Monitoreo freatico para generar estrategias de manejo a escala regional*. Córdoba. Argentina: INTA. Obtenido de <https://inta.gob.ar>: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-monitoreo\\_fretico\\_para\\_generar\\_estrategias\\_de\\_ma.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-monitoreo_fretico_para_generar_estrategias_de_ma.pdf)
- Carafa, T. (2009). *Evaluación ecológica de bofedales de la cuenca circundante al nevado Illimani*. La Paz, Bolivia.: Universidad Mayor de San Andrés.
- Carrasquel, G. (17 de junio de 2014). *Los Bofedales, humedales andinos que merecen protección*. Obtenido de Canal Azul 24: <http://www.canalazul24.com/?p=19746>
- CEA. (2006). *Conceptos y criterios para La evaluacion ambiental de humedales*. Chile: Centro de Ecología Aplicada - CEA. Servicio agrícola ganadero. Ministerio de Agricultura Chile.
- CEA. (2011). *Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental*. Santiago. Chile: Centro de Ecología Aplicada. Ministerio de Medio Ambiente ( MMA).
- Choza, J. (1988). *Manual de Antropología Filosófica*. Madrid. España: Ediciones RIALP.
- COMPO. (2004). *Guía de Interpretación de los Análisis de Agua de Riego*. Barcelona: Compo Agricultura S.L.
- Condori, E. y Choquehuanca, D. (2001). *Evaluación de las características y distribución de los bofedales en el ámbito peruano del Sistema TDPS. Proyecto conservación de la biodiversidad en la cuenca del Lago Titicaca – Desaguadero – Salar de Poopo-Salar de Copaisa*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Contreras, J. (30 de octubre de 2014). *El bofedal "La Moya" de Ayaviri*. Obtenido de Consultora Irpaña: <http://conirpco.blogspot.com>

- Coronel, J., Brendonck, S., y Declerck, L. (2009). High-altitude peatland temporary pools in Bolivia house a high cladoceran diversity. *Wetlands*, 27: 1166-1174.
- Coronel, J., De La Barra, N. y Aguilera, X. (2009). Bofedales altoandinos de Bolivia : Vegetación acuática y factores ambientales. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*(N°26), 23-34.
- Cruz, R. (1995). *Drenajes. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali, Colombia: CENICAÑA.
- Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M., Postigo, J. y Peralvo, M. (2012). *Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales* (Eds ed.). Lima: CONDESAN.
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R., Halloy, S. y Salgado, S. (Eds.). (2012). *Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación*. Lima - Quito: Red Gloria-Andes.
- Dangles, O., Meneses, R. I. y Anthelme, R. I. (2014). BIOTHAW: Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático. *Ecología en Bolivia*, 49(3), 6-13.
- Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM. (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Lima Perú: Ministerio del Ambiente.
- Duque, G. y Escobar, C. (15 de julio de 2017). *Geomecánica*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Galeon.com: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/>
- Esacademic. (30 de octubre de 2018). Diccionario ecológico. Obtenido de esacademic.com: <http://www.esacademic.com/>
- Fiorio, D. (1996). Manejo de Agua y Conservación de Bofedales. *Seminario Taller: Manejo Sostenible de Praderas Nativas Andinas*. (págs. 131-138). Potosí, Bolivia: Programa de Autodesarrollo Campesino-Fase Consolidación, Foro Boliviano para el Medio Ambiente y Desarrollo (PAC-C, FOBOMADE).

- Flores, E. (2014). *Nota técnica 9. Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Flores, L. y Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores, M. (2011). *Filosofía Andina*. Lima. Perú: Editorial San Marcos.
- Florez, A. (2005). *Manual de pastos y forrajes altoandinos*. Lima: ITDG AL, OIKOS.
- Fuentealba, B., Mejia, M. y Gonzáles, Y. (2017). Entendiendo los humedales alto-andinos en el Parque Nacional Huascarán (Ancash, Perú) para promover su restauración. *Libro de Resúmenes: I Congreso Peruano de Humedales* (pág. 45). Lima: Museo Historia Natural. UNMSM.
- García, J. (1996). *Racionalidad en la Cosmovisión Andina*. Lima. Perú: CONCYTEC.
- Gennin, D. y Alzérreca, H. (2006). Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. Entre fragilidad, saberes tradicionales y marginalidad, ¿cual desarrollo duradero? *SÉCHERESS*, 17(1-2), 265-274.
- Gobierno Regional Ayacucho. (2013). *Zonificación Ecológica Económica Ayacucho*. Ayacucho: Gobierno Regional de Ayacucho.
- Goitia, E., Maldonado, M., Acosta, N., de la Barra, N., Cadima, N. C. y Salvatierra, A. (2007). Tipificación de humedales altoandinos de Bolivia: biocenosis acuática de los bofedales. *Congreso Internacional Sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales.*, 2:1125-1129.
- Gómez, J. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Tolima, Colombia: Centro Agropecuario “La Granja”. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA.
- Gómez, S. (2015). *Hidrogeología en bofedales alto andinos con fines de aprovechamiento hídrico en la Comunidad Rosaspata Vinchos – Ayacucho 2015. (Tesis)*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.



- Gonzales, L. y Fuentealba, B. (2017). Caracterización ecológica de tres bofedales representativos de la comunidad campesina cordillera blanca, Ancash – Perú. *III simposio de humedales del Perú* (pág. 19). Lima: Museo de Historia Natural. UNMSM.
- Håkan, R. y Jelum, J. (2013). *The Biology of peatlands*. New York. United States of America: Oxford University Press.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. y Ryan, P. D. (2001). *PAST. Paleontological Statistics. Version 3.18. 1999-2017. Natural History Museum*. Oslo, Norway: University of Oslo.
- Herzog, S., Martínez, R. y Jørgensen, P. (2012). *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. Paris: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) y Comité Científico Sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).
- Hribljan, J., Cooper, D., Sueltenfuss, J., Wolf, E., Heckman, K., Lilleskov, E. y Chimner, R. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*, 15(article 12), 1-14.
- IBM. (2013). *Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0*. New York: IBM Corp.
- Instituto Geográfico Nacional. (1989). *Atlas del Perú*. Lima: Instituto Geográfico del Perú.
- Iturraspe, R. y Roig, C. (2000). Aspectos hidrológicos de turberas de Sphagnum de Tierra de Fuego - Argentina. *Conservación de ecosistemas a nivel mundial en énfasis en las turberas del fuego*, (págs. 85-93). Ushuaia, Argentina.
- James, E. (2005). *Estudio de las características hidrológicas de dos tipos de bofedales en las comunidades de Apoco y El Asiento (Provincia Quijarro Departamento de Potosí)*. Potosi, Bolivia: Universidad Autónoma Tomás Frías.
- Jobbág, E. y Nosetto, M. (2008). Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. (IMASL-CONICET, Ed.) *XVII Congreso AAPRESID*, 151-156.

- Juárez, F., Villatoro, J. A. y López, E. K. (2002). *Apuntes de Estadística Inferencial*. Mexico D.F.: Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente.
- Lara, R. y Lenis, A. (1996). Identificación y caracterización de bofedales en los Lípez-Potosí. *Seminario Taller Manejo Sostenible de Praderas Nativas Andinas*. Potosí, Bolivia: Programa de Autodesarrollo Campesino-Fase Consolidación, Foro Boliviano para el Medioambiente y Desarrollo (PAC-C, FOBOMADE).
- Linares-Palomino, R., Cardona, V., Soto, D., Herzog, S. y Kessler, M. (2008). Patrones de comunidades de árboles en un gradiente de bosque semidecíduo a bosque siempreverde en Bolivia central. *Ecología en Bolivia*(43), 1-20.
- Lorini, H. (2012). *Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama*. Sajama. Bolivia: Agua Sustentable.
- Lorini, H. (2013). Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama. *Simposio: cambio Climático. Una montaña de desafíos*. Bolivia: Universidad Católica Boliviana “San Pablo” y Agua Sustentable.
- Loza, S., Meneses, R. I. y Anthelme, F. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología en Bolivia*, 50(1), 39-56.
- Luisoni, L. (2010). Ajuste de carga animal: aspectos teóricos y Recomendaciones prácticas. *2ª Jornada IPCVA (cartilla) INTA EEA Reconquista. Centro Regional Santa Fe. Argentina*. Santa Fé, Argentina: INTA EEA Reconquista.
- Luna, D. (1994). *Caracterización de asociaciones vegetales de la comunidad altoandina Aguas Calientes*. (Tesis). Oruro, Bolivia.: Universidad Técnica de Oruro.
- Macurí, J. C. (2017). *Evaluación de tres métodos para estimar la capacidad de carga en vicuñas* (Tesis). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Maldonado, M., Valencia, N., Ledesma, K., Vildoso, B. y Linares- Palomino, R. (2017). Dinámica interanual de la vegetación de bofedales sujetos a efectos de infraestructura lineal en la sierra sur del Perú 2009-2010. *Libro*

*de Resúmenes: I Congreso Peruano de Humedales* (pág. 62). Lima: Museo de Historia Natural. UNMSM.

Margalef, R. (1991). *Ecología*. Barcelona. España: Ediciones Omega.

Matteucci, S. y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Washington, Estados Unidos: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal : memoria descriptiva. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Miranda, F. (1990). *Evaluación edafo agrostológica de los pastizales del Centro Experimental de Quimsachata-INIA. (Tesis)*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Molina, E. (2013). *Análisis de suelos y su interpretación*. Centro de Investigaciones Agronomicas. Universidad de Costa Rica.

Montenegro, A., Oropeza, Y. y Maldonado, M. (2017). Inventario preliminar de la flora de los bofedales de milloc (Carampoma, huarochirí). *Libro de Resúmenes: I Congreso Peruano de Humedales* (pág. 65). Lima: Museo Historia Natural. UNMSM.

Montoya, S. (marzo de 2013). Optimización de costos y tiempo en estudios hidrogeológicos. Lima, Perú: Gidahatari.

Morche, W., La Torre, O., De La Cruz, N. y Cerrón, F. (1996). *Geología del cuadrangulo de Huachocolpa. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 63*. Lima. Perú: Instituto Geologico Minero y Metalurgico.

Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información

- sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*(82), 1249-1261.
- Moulton, L. (1980). *Highway subdrainage design*. Washinton D.C.: Publication FHWA-TS-80-224.
- Munoz, F., Anthelme, F. y Raevel, V. (2014). Procesos ecológicos a múltiples escalas que afectan a las dinámicas de comunidades de plantas en los humedales altoandinos de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 49(3), 104-119.
- Muñuzuri, J. y Lara, J. d. (2014). *Técnicas de clusterización*. Cartagena. España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII).
- Olivares, A. (1988). Experiencias de investigaciones en pradera nativa en un ecosistema frágil. *Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia*. Oruro, Bolivia.: Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR).
- Oyague, E., y Maldonado, M. (2014). Relationships between aquatic invertebrates, water quality and vegetation in an Andean peatland system. *Mires and Peat*, 15, 1-21.
- Palabral, A. (2012). *Relación de la composición florística y su biomasa subterránea con las variables hidrológicas en bofedales de Sajama*. Sajama. Bolivia: Agua sustentable.
- Palabral, A. y Lliully, A. (2014). *Gestión del agua y cambio climático. Vegetación en los bofedales de Choquecota y Belén de Andamarca - Oruro*. Oruro: Helvetas Swiss Intercooperation.
- Pavón, M. (1987). ¿La filosofía de la naturaleza en ciencia de la naturaleza? *Thémata: Revista de Filosofía*, 4:97-116.
- Polk, M. (2017). Bofedales altoandinos: Líneas de investigación prioritarias y sostenibilidad. *Libro Resúmenes: I Congreso Peruano de Humedales* (pág. 19). Lima, Perú: Museo Historia Natural. UNMSM.
- Polk, M., Young, K., Baraer, M., Mark, B., McKenzie, J., Bury, J. y Carey, M. (2017). Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Applied Geography*(78), 94-103.

- Red Hidrometeorológica Apacheta. (1991-2013,2015). *Lat.13°20' 51" S, Long. 74°38'44" W. Altitud 4150 msnm*. Ayacucho: Gobierno Regional de Ayacucho.
- Ridder, N. (1994). *Drainage Principles an Applications*,. En R. Ed., *Groundwater investigations*. ILRI Publication 16.
- Salaverry, J. (2006). *Macroecología de los Andes Peruanos. Situación actual y dinámica de cambio en los últimos 20 000 años*. Lima: HOZLO SRL.
- Salvador, F., Monerris, J. y Rochefort, L. (2014). Peatlands of the Peruvian puna ecoregion: types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat*, 15(3), 1-17.
- Santayana, S. (2012). Napa freática. *Aguas Subterráneas*. Lima, Perú: Departamento de Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Santos, F. (2010). *Caracterización geográfica de las Turberas y Bofedales del Sistema de Humedales de la Mancomunidad del Frente Sur del Tungurahua*. Chimborazo y Tungurahua, Ecuador.: Creación de Capacidades para la Valoración Socioeconómica de humedales Altoandinos.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2005). Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos. *9na Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales*. (pág. 26). Kampala, Uganda: Ramsar.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (6a. edición. ed.). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Siguayro, R. (2008). *Evaluación agrostológica y capacidad receptiva estacional en bofedales de puna seca y húmeda del altiplano de Puno (Tesis)*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Soliz, H. (2011). *Proyecto Illimani: Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de cambio climático en Comunidades de la Cordillera Real de los Andes Centrales de Bolivia*. La paz: Consorcio: "Glaciares Andinos" Ayni Tambo - Agua Sustentable.

- SSDS. (1993). *Examination and Descriptions of Soils. Soil survey manual. Handbook 18*. Washington D.C.: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Troncoso, R. (1982). *Evaluación de la capacidad de carga animal del Parque Nacional Lauca*. Arica, Chile.: Corporación Nacional Forestal, Región Tarapacá.
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Washington, D.C.: Instituto de Calidad de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Valencia, N., Cano, A., Delgado, A., Trinidad, H. y Gonzáles, P. (2016). Composición y cobertura de la vegetación de bofedales en un macrotransecto Este-Oeste en los Andes centrales del Perú. En A. Alonso, y G. F. Dallmeier y Servat, *Monitoreo de Biodiversidad. Lecciones de un Megaproyecto Transandino*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Scholarly Press.
- Valencia, N., Cano, A., Gonzales, P., y Trinidad, H. (2016). Diversidad de las comunidades en los bofedales de Oyón, Lima, Perú. *XXV Reunión Científica ICBAR* (pág. 97). Lima: Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- WWF. (13 de setiembre de 2005). *WWF*. Obtenido de Los humedales: fuente de agua y servicios para la gente:  
[http://wwf.panda.org/wwf\\_news/press\\_releases/index.cfm?uNewsID=23031&uLangID=4](http://wwf.panda.org/wwf_news/press_releases/index.cfm?uNewsID=23031&uLangID=4)
- Young, K., Ponette-González, A., Polk, M. y Lipton, J. (2016). Snowlines and Treelines in the Tropical Andes,. *Annals of the American Association of Geographers*, DOI: 10.1080/24694452.2016.1235479.
- Zeballos, H., Ochoa, J. A., y López, E. (. (2010). *Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca*. Lima: DESCO, PROFONANPE, SERNANP.

## ANEXOS

### Anexo 1. Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático

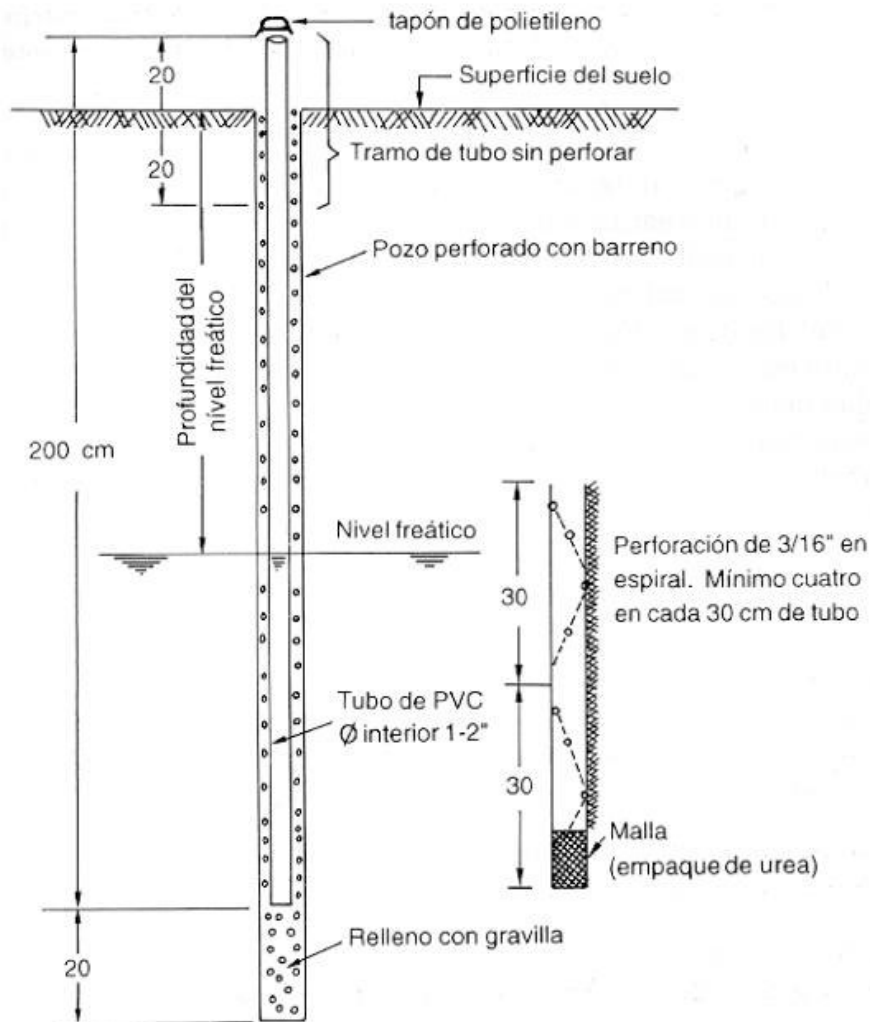


Figura 30. Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático.

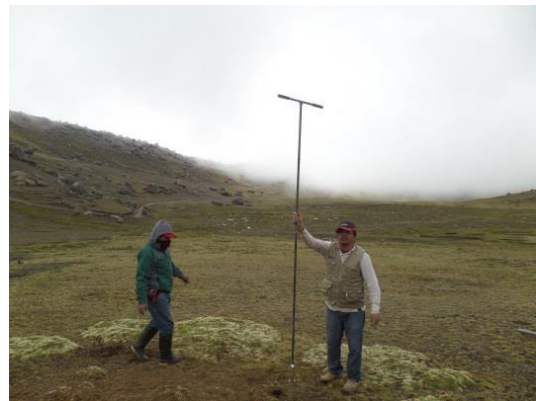
Tomado de Cruz, R. 1995. Drenajes. En CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. CENICAÑA.

*Anexo 2. Registro fotográfico del trabajo de investigación*

**Levantamiento topográfico del bofedal Minas Corral**



**Instalación de piezómetros**

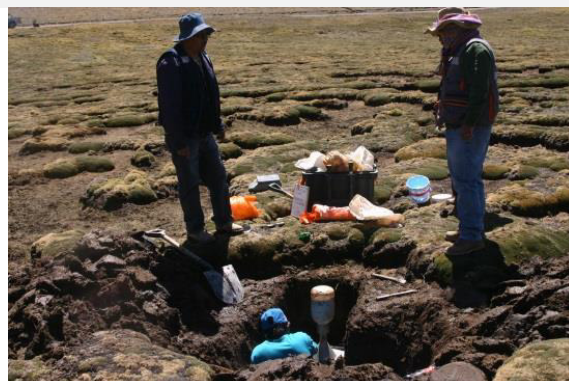




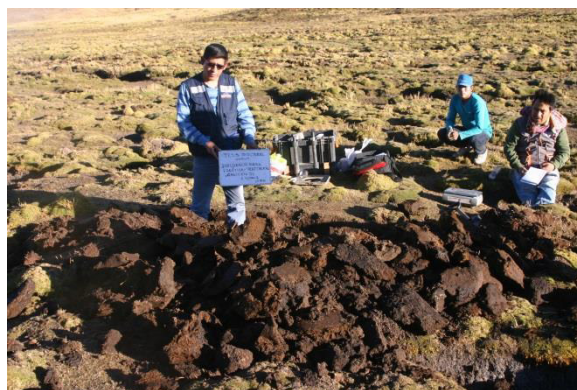
---

**Lectura de la profundidad de la napa freática en los piezómetros****Toma de muestra de agua y lectura de las características químicas del agua de la napa freática****Muestreo de la vegetación del bofedal**

### Calicatas y realización del método del cono de arena



### Muestreo de suelo en el bofedal Minas Corral para su transporte a la Empresa INGEOTECN EIRL



*Anexo 3. Resultados de la ubicación de los piezómetros y la profundidad de la napa freática del Bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.*

Piezómetro	X	Y	Z	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	set.	oct.	nov.	dic.												
1	552419.9121	8531431.21	4360.045	28	18	36.2	32	64	110	142	145	187	198	196	96												
2	552549.3039	8531351.42	4357.673																								
3	552561.0455	8531455.37	4353.252	0	0	0	0	0	5	0	17	31	27	54.5	0												
4	552628.4087	8531454.78	4344.765	Datos en reserva																							
5	552711.2224	8531351.72	4344.725																								
6	552762.1696	8531292.36	4343.835																								
7	552780.6507	8531377.79	4339.235																								
8	552855.2657	8531230.05	4343.239																								
9	552885.8799	8531202.03	4348.406																								
10	552847.099	8531081.89	4353.111																								
11	552865.9541	8531009.39	4360.692																								
12	552838.3087	8530939.2	4364.831																								
13	552934.4481	8531336.09	4339.885																								
14	552785.1687	8531516.1	4336.537																								
15	552854.8275	8531576.85	4332.356																								
16	552858.5682	8531633.66	4333.352																								
17	552982.822	8531629.26	4331.8																								
18	553119.3349	8531502.04	4333.798																								
19	553106.942	8531564.51	4331.095																								
20	553094.8064	8531606.62	4329.394																								
21	553065.334	8531663.28	4332.788																								
22	553169.4282	8531589.79	4326.934																								
23	553257.1781	8531515.32	4325.365																								
24	553264.8014	8531603.76	4322.965																								
25	553233.9042	8531690.72	4325.763																								
26	553384.98	8531635.49	4318.448																								
27	553484.2854	8531580.3	4315.096																								
28	553651.929	8531601.36	4307.729																								
29	553796.4656	8531481.34	4304.122																								
30	553838.3008	8531583.94	4301.517																								
31	553835.5102	8531674.81	4303.852																								
<b>Calicatas</b>																											
C1	552885	8531630																									
C2	552971	8531580																									
C3	553065	8531518																									
C4	552778	8531372																									
C5	553658	8531572																									

**Anexo 4. Composición florística, cobertura vegetal y grado de palatabilidad de las especies de plantas del bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**

FAMILIA	ESPECIE	NÚMERO DE UNIDADES MUESTRALES EN QUE APARECE LA ESPECIE	COBERTURA VEGETAL DE LA ESPECIE %	GRADO DE PALATABILIDAD	COBERTURA VEGETAL %		
					VEGETACIÓN HIDROMÓRFICA	VEGETACIÓN MÉSICA	VEGETACIÓN DE BORDE
APIACEAE	<i>Azorella diapensioides</i>	2	0.39	Deseable			0.63
	<i>Azorella biloba</i>	2	0.03	Deseable			1.93
	<i>Eryngium humile</i>	4	0.15	Deseable	0.39	0.58	
	<i>Oreomyrrhis andicola</i>	5	0.17	Indeseable	0.13	0.29	1.29
ASTERACEAE	<i>Baccharis alpina</i>	1	0.06	Indeseable			0.49
	<i>Oritrophium limnophilum</i>	25	2.71	Poco deseable			0.63
	<i>Belloa longifolia</i>	2	0.03	Indeseable	0.29		0.31
	<i>Belloa piptolepis</i>	3	0.05	Poco deseable			0.37
	<i>Bidens andicola</i>	1	0.03	Indeseable	5.16	3.36	1.29
	<i>Cotula mexicana</i>	25	3.35	Indeseable			0.31
	<i>Gamochaeta americana</i>	1	0.02	Poco deseable		0.29	0.31
	<i>Gnaphalium purpureum</i>	2	0.03	Poco deseable	3.38	14.66	1.22
	<i>Hypochaeris sessiliflora</i>	21	6.29	Deseable	1.25	3.21	0.85
	<i>Hypochaeris taraxacoides</i>	22	7.45	Poco deseable	0.29	0.29	1.49
	<i>Lucilia kunthiana</i>	6	0.23	Indeseable	0.74		
	<i>Novenia acaulis</i>	2	0.39	Poco deseable	4.26	3.63	1.23
	<i>Paranephelius uniflorus</i>	1	0.02	Poco deseable			0.31
	<i>Perezia coerulescens</i>	2	0.03	Poco deseable	0.15	0.29	
	<i>Senecio macrorrhizus</i>	1	0.02	Poco deseable			0.31

	<i>Werneria nubigena</i>	3	0.10	Indeseable	0.62		
	<i>Werneria pectinata</i>	1	0.10	Deseable	0.15	0.76	
	<i>Werneria pygmaea</i>	12	0.94	Deseable			0.69
	<i>Werneria caespitosa</i>	3	0.19	Deseable	1.98	1.12	0.31
BORAGINACEAE	<i>Plagiobothrys scouleri</i>	1	0.16	Poco deseable			0.85
BRASSICACEAE	<i>Lepidium bipinnatifidum</i>	3	0.24	Poco deseable		1.95	0.31
CAMPANULACEAE	<i>Lobelia oligophylla</i>	25	7.58	Deseable	9.65	5.43	1.99
	<i>Lysipomia muscoides</i>	15	0.48	Poco deseable	1.42	1.87	0.31
CARYOPHYLLACEAE	<i>Arenaria digyna</i>	7	0.50	Indeseable	0.15	1.69	1.23
	<i>Cerastium danguyi</i>	1	0.02	Poco deseable			0.63
	<i>Cerastium consanguineum</i>	2	0.03	Poco deseable			0.31
	<i>Pycnophyllum bryoides</i>	1	0.81	Indeseable			3.24
CAPRIFOLIACEAE	<i>Valeriana bracteata</i>	2	0.05	Poco deseable	0.15		0.37
CYPERACEAE	<i>Carex bonplandii</i>	15	1.26	Deseable	1.14	1.50	4.68
	<i>Cyperus andinus</i>	1	0.03	Deseable			0.37
	<i>Trichophorum rigidum</i>	13	1.08	Indeseable	0.98	2.32	
	<i>Phylloscirpus acaulis</i>	5	1.06	Indeseable	0.83	1.72	3.39
	<i>Zameioscirpus muticus</i>	5	0.10	Poco deseable	0.31	0.58	0.31
FABACEAE	<i>Astragalus uniflorus</i>	2	0.08	Indeseable	0.15	0.42	
GENTIANACEAE	<i>Gentiana sedifolia</i>	21	0.60	Deseable	2.13	1.66	0.93
	<i>Gentianella dolichopoda</i>	4	0.06	Indeseable	0.59		
GERANEACEAE	<i>Geranium multipartitum</i>	2	0.03	Deseable		0.29	0.31
	<i>Geranium sessiliflorum</i>	7	0.45	Deseable	0.15	0.29	2.86
HYPERICACEAE	<i>Hypericum silenoides</i>	2	0.03	Deseable	0.15		0.31
ISOETACEAE	<i>Isoetes andicola</i>	1	0.02	Poco deseable	0.15		
JUNCACEAE	<i>Distichia muscoides</i>	19	12.42	Deseable	16.13	4.19	
	<i>Juncus ebracteatus</i>	8	0.42	Deseable	0.39	0.75	1.78

	<i>Luzula racemosa</i>	1	0.02	Deseable			0.31
LEGUMINOSAE	<i>Trifolium amabile</i>	2	0.03	Deseable		0.29	0.31
	<i>Trifolium repens</i>	2	0.03	Deseable			0.63
MALVACEAE	<i>Acaulimalva engleriana</i>	1	0.02	Indeseable			0.31
	<i>Nototriche longirostris</i>	3	0.05	Deseable	0.15		0.63
MONTIACEAE	<i>Calandrinia acaulis</i>	4	0.11	Poco deseable	0.44	0.42	
ONAGRACEAE	<i>Oenothera multicaulis</i>	1	0.06	Poco deseable			0.49
ORCHIDACEAE	<i>Myrosmodes paludosa</i>	4	0.13	Deseable	0.29	0.42	0.37
OROBANCHACEAE	<i>Bartsia difundio</i>	1	0.02	Poco deseable	0.15		
	<i>Castilleja pumila</i>	1	0.02	Poco deseable		0.29	
OXALIDACEAE	<i>Oxalis</i> sp. cf <i>oreocharis</i>	3	0.19	Indeseable			1.47
PIPERACEAE	<i>Peperomia andina</i>	1	0.06	Poco deseable		0.42	
PLANTAGINACEAE	<i>Callitriche heteropoda</i>	2	0.03	Indeseable	0.15	0.29	
	<i>Ourisia muscosa</i>	2	0.03	Indeseable	0.15	0.29	
	<i>Plantago lamprophylla</i>	1	0.16	Poco deseable			0.85
	<i>Plantago rigida</i>	14	5.00	Deseable	1.44	4.68	13.26
	<i>Plantago tubulosa</i>	30	18.11	Deseable	15.55	19.25	4.96
POACEAE	<i>Aciachne pulvinata</i>	14	5.48	Indeseable	2.13	3.83	13.26
	<i>Agrostis breviculmis</i>	5	0.35	Poco deseable		0.68	1.72
	<i>Alopecurus hitchcocki</i>	8	1.24	Indeseable	0.25	0.68	
	<i>Bromus catharticus</i>	2	0.05	Deseable	1.32	1.93	0.85
	<i>Calamagrostis heterophylla</i>	2	0.03	Deseable	0.15	0.33	
	<i>Calamagrostis minima</i>	24	3.18	Deseable	1.49	1.46	0.74
	<i>Calamagrostis rigescens</i>	13	0.73	Poco deseable	4.69	3.23	1.83
	<i>Calamagrostis vicunarium</i>	5	0.61	Poco deseable	0.15	0.29	
	<i>Dissanthelium peruvianum</i>	2	0.26	Deseable	0.62		2.54
<i>Festuca rigescens</i>	3	0.05	Indeseable	0.44			

	<i>Hordeum muticum</i>	2	0.05	Poco deseable	0.15		0.37
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	13	2.06	Indeseable	0.35		
	<i>Muhlenbergia ligularis</i>	2	0.08	Deseable	0.44		0.68
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	5	0.10	Deseable	1.11	2.18	5.54
	<i>Paspalum pygmaeum</i>	2	0.03	Deseable	0.15		0.31
	<i>Poa aequigluma</i>	10	0.37	Deseable	0.46	0.58	2.27
	<i>Stipa mucronata</i>	1	0.02	Deseable			0.31
RANUNCULACEAE	<i>Ranunculus peruvianus</i>	2	0.05	Deseable			0.68
ROSACEAE	<i>Lachemilla pinnata</i>	10	1.32	Deseable	2.81	6.92	4.93
	<i>Lachemilla diplophylla</i>	6	0.74	Deseable	1.48		0.49
	<i>Lachemilla barbata</i>	17	4.60	Deseable	1.11	0.92	3.51
VIOLACEAE	<i>Viola pygmaea</i>	3	0.13	Deseable	0.29		0.69
<b>Número total de especies</b>		85					
<b>Cobertura vegetal total</b>			95.89				

## Anexo 5. Métodos de análisis utilizados para determinar las características del suelo del bofedal Minas Corral

### a. Determinación de la textura del suelo

La metodología que se utilizó fue el método del hidrómetro de Bouyoucos, citado por Burt, 2004 tomado de (Flores & Alcalá, 2010).

La muestra de suelo se secó a  $40 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y los sólidos menores a 2 mm de diámetro se dispersaron con hexametáfosfato de sodio. Posteriormente, “se midió la densidad de la suspensión resultante con un hidrómetro después de 40 s y de 7 h de sedimentación, con las lecturas obtenidas se calculó la distribución de las partículas de arcilla, limo y arena” (Flores & Alcalá, 2010).

Cálculos

### a. Cálculo del contenido de limo + arcilla, en %

$$(\text{limo} + \text{arcilla})\% = \frac{[a_{40s} + ((20 - t_{a40s}) \times 0,35)] - [b_{40s} + ((20 - t_{b40s}) \times 0,35)]}{m \times (1 - 0,01 \times \text{MO} / \text{Fh}_{\text{suelo}})} \times 100 \times \text{Fh}_{\text{suelo}}$$

Donde:

$a_{40s}$  = lectura, en g/L, de la muestra a los 40 s

$b_{40s}$  = lectura, en g/L, del blanco a los 40 s

$t_{a40s}$  = temperatura, en  $^{\circ}\text{C}$ , de la muestra a los 40 s

$t_{b40s}$  = temperatura, en  $^{\circ}\text{C}$ , del blanco a los 40 s

0,35 = factor de corrección por temperatura

m = masa, en g, de muestra

MO = materia orgánica, en %

$\text{Fh}_{\text{suelo}}$  = Factor de corrección de humedad



### b. Cálculo del contenido de arcilla, en %

$$\text{arcilla (\%)} = \frac{[a_{2h} + ((20 - t_{a2h}) \times 0,35)] - [b_{2h} + ((20 - t_{b2h}) \times 0,35)]}{m \times (1 - 0,01 \times \text{MO} / \text{Fh}_{\text{suelo}})} \times 100 \times \text{Fh}_{\text{suelo}}$$

Donde:

$a_{2h}$  = lectura, en g/L, de la muestra a las 7 h

$b_{2h}$  = lectura, en g/L, del blanco a las 7 h

$t_{a2h}$  = temperatura, en °C, de la muestra a las 7 h

$t_{b2h}$  = temperatura, en °C, del blanco a las 7 h

0,35 = factor de corrección por temperatura

$m$  = masa, en g, de muestra

MO = materia orgánica, en %

$\text{Fh}_{\text{suelo}}$  = Factor de corrección por humedad

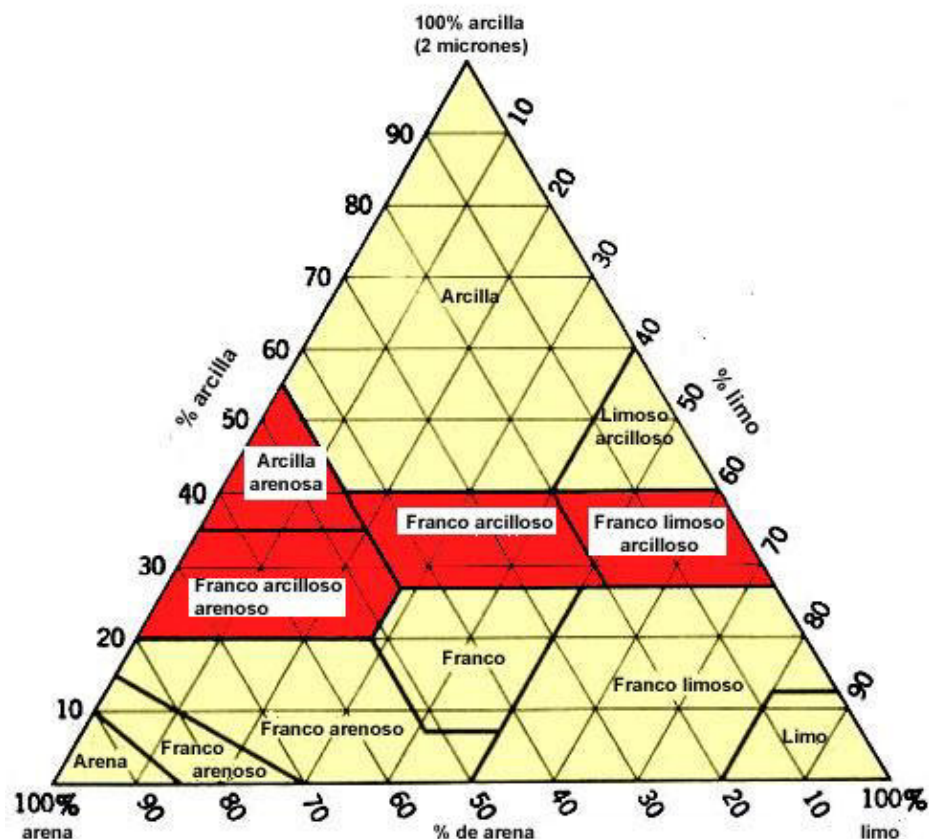
### c. Cálculo del porcentaje de limo (%)

$$\text{Limo (\%)} = (\text{limo} + \text{arcilla}) - (\text{arcilla})$$

### d. Cálculo del porcentaje de arena (%)

$$\text{Arena (\%)} = 100 - (\text{limo} + \text{arcilla})$$

Los resultados obtenidos fueron expresados en porcentaje (%); “arcilla (<0,002 mm), Limo (0,002 mm a 0,05 mm), Arena (>0,05 mm)” (SSDS, 1993), para luego, con ayuda del triángulo de texturas (Figura 5) obtener la clasificación textural del suelo (SSDS, 1993).



*Figura 31. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según los porcentajes de arena, limo y arcilla en el suelo. Fuente. SSDS (1993).*

#### **b. Determinación de la materia orgánica**

El método de Walkley y Black permite determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo, se usó el procedimiento modificado de Walkley y Black (1934), que está basado en una oxidación húmeda, para determinar el contenido de Carbono Orgánico en el suelo se siguió el procedimiento sugerido por Gómez (2013) “a 0,5 g de suelo se le agregó 10 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) a 1 N en medio ácido (20 ml de  $H_2SO_4$ ). Luego de 45 minutos se agregó agua destilada y gotas de indicador difenilamina”.

“Se realizó la titulación del exceso de  $Cr^{+6}$  con la sal de Mohr ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 0,5 N. El viraje de color del verde oscuro al rojo indica la presencia del punto final de la titulación” (Gómez J. , 2013).

## Cálculos

$$\text{Carbono orgánica (\%)} = \frac{(V_b - V_m) * N * F * 0.39}{P}$$

Donde:

$V_b$  = volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración del blanco (se realiza la media aritmética entre los tres blancos valorados) (ml)

$V_m$  = volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración de la muestra (ml)

$N$  = normalidad de la Sal de Mohr (0,5 N)

$F$  =  $20/V_b$  (es un factor de corrección de la normalidad de la sal de Mohr)

0,39 = Factor que resulta de considerar que por este método sólo se oxida el 77% del carbono existente en la muestra.

$P$  = peso de la muestra de suelo (g)

## Cálculo de la materia orgánica

%M.O. (materia orgánica) = %Carbono

1.724 = coeficiente que asume que la materia orgánica contiene ácidos húmicos con un 58% de carbono ( $100/58 = 1.724$ , factor de Van Bemmelen).

Las propiedades del suelo se ven mejoradas por la presencia de la materia orgánica favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. “Los suelos con menos de 2% de materia orgánica tienen bajo contenido, y de 2 a 5% es un contenido medio, siendo deseable que el valor sea superior a 5%” (Molina, 2013).

### c. Determinación del contenido de humedad en el suelo

La humedad del suelo se determinó por el método del secado en la estufa, el método fue tomado del manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC-E-108 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016), en el cual se indica que el contenido de humedad de un suelo es “la relación, expresada como porcentaje, del peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua”.

Se determinó la masa de un contenedor limpio y seco, luego se colocó la muestra de suelo húmedo en el contenedor, en el cual se determinó el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (0,01 g), luego se llevaron las muestras de suelo a una estufa a 60°C por un tiempo de 48 horas para obtener material secado a peso constante.

Cálculos.

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

W = es el contenido de humedad, (%)

M<sub>cws</sub> = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M<sub>cs</sub> = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

M<sub>c</sub> = es el peso del contenedor, en gramos

M<sub>w</sub> = es el peso del agua, en gramos

M<sub>s</sub> = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

#### **d. Determinación de la densidad seca en campo**

Para la determinación de la densidad seca en campo se utilizó el método del cono de arena (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

El método del cono de arena consistió en hacer un orificio en el suelo con el cincel, teniendo como molde la placa que tiene un orificio de 6 pulgadas.

El suelo obtenido del orificio, se recogió con la brocha y la cuchara, y se colocó en el depósito de aluminio, una vez finalizado el orificio, se pesó el material obtenido del orificio, con el depósito, luego se pesa solo el depósito. En todos los casos los datos de los pesos se registraron en la hoja de trabajo.

Luego se pesó la arena con el frasco lleno de arena, y se colocó el cono con la arena en el orificio, y luego se abrió la válvula hasta que deje de fluir. Se cerró la válvula y se pesó lo que queda en el frasco.

Cuando se encontró suelo que contenía piedras, entonces se realizó el tamizado por la malla ¾" para luego hallar su peso específico.

En el área de trabajo se extrajeron muestras de suelos para la determinación del contenido de humedad.

#### **Cálculos**

Los cálculos realizados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen, luego fueron transformados a tn/m<sup>3</sup>.

#### **a. Cálculo del volumen de orificio de prueba.**

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Donde:

$V$  = volumen del orificio de prueba,  $\text{cm}^3$

$M_1$  = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, g.

$M_2$  = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, g.

$P_1$  = densidad del volumen de la arena,  $\text{g}/\text{cm}^3$

### **b. Cálculo de la masa seca del material extraído del orificio de prueba**

$$M_4 = \frac{100 * M_3}{(W + 100)}$$

Donde:

$W$  = Contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %

$M_3$  = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g.

$M_4$  = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

### **c. Cálculo de la densidad seca in situ**

$$\rho_d = M_4/V$$

Donde:

$\rho_d$  = densidad seca del material probado en  $\text{g}/\text{cm}^3$

$M_4$  = masa seca del material del orificio de prueba, g.

$V$  = volumen del orificio de prueba,  $\text{cm}^3$

### e. **Determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo**

La gravedad específica se determinó por el método picnómetro de agua, el método fue tomado del manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC-E- 113 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016) donde se indica “la gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación”. Es un método indirecto porque para medir el volumen del suelo se mide el volumen del agua que este desplaza.

Una vez calibrado el picnómetro, se determinó la masa del picnómetro con una balanza de aproximación de 0,01g. La metodología seguida fue para muestras secadas al horno. Se secaron las muestras de suelo en un horno a  $110 \pm 5$  °C, luego del secado se dejaron enfriar a la temperatura del laboratorio.

Las muestras de suelo fueron pesadas para luego ser transferidas a un picnómetro. Se siguió la recomendación dada por (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016) “se llenó el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire dejándolo reposar durante la noche, para luego extraer el aire atrapado dentro de la suspensión del suelo por calor y vacío”.

Se completó el picnómetro con agua destilada hasta su capacidad de calibración.

Se determinó el peso del picnómetro con la solución de suelo-agua. Se determinó la temperatura del agua y se realizó las correcciones de los pesos tanto del picnómetro como lo del agua. Con la muestra del suelo recuperada se seca al horno por 24 horas, posteriormente se determina el peso seco al aire.

#### Cálculos

a. Para determinar la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo

$$M_{pw,t} = M_P + (V_P * \rho_{w,t})$$

Donde:

$M_{pw,t}$  = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g,

$M_p$  = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g,

$V_p$  = el volumen promedio calibrado del picnómetro, ml

$\rho_{w,t}$  = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/ml. Tabla de densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas (MTC, 2016).

b. Para determinar el peso específico de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - M_p) \rho_{w,t}}$$

Donde.

$\rho_s$  = la densidad del sólidos de suelo g/cm<sup>3</sup>

$\rho_{w,t}$  = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/ml o g/cm<sup>3</sup>. Tabla de densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas (MTC, 2016).

$M_s$  = la masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g)

$M_{pws,t}$  = la masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, (T), g.

c. Para determinar la gravedad específica de los sólidos

$$G_{20^{\circ}C} = K * G_t$$

Donde:

K = el coeficiente de temperatura Tabla de densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas (MTC, 2016).

$G_t$  = peso específico de los sólidos del suelo.



#### f. **Determinación de la porosidad del suelo**

La porosidad total se determinó midiendo el volumen de líquido contenido en un volumen de suelo al estado de saturación. Se pesó una muestra de suelo saturado (extraída con el método del cilindro), se llevó a sequedad y se pesó nuevamente. La pérdida de peso indica el volumen total de poros, admitiendo que el agua de la muestra tiene una densidad igual a  $1 \text{ gr/cm}^3$  (Flores & Alcalá, 2010).

Cálculos

Porosidad es la función del volumen ocupado por el material volumen de las partículas sólidas ( $V_s$ ) y el volumen total del suelo ( $V_t$ ).

$$V_t = V_s + V_v$$

$V_t$  = volumen total de suelo ( $V_t$ )

$V_s$  = volumen de las partículas sólidas

$V_v$  = volumen de vacíos

De lo indicado se desprende, la porosidad ( $P$ ) es la relación entre el volumen de poros y el volumen total del suelo.

$$P = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t}$$

Si se expresa en porcentaje, se tiene:

$$P (\%) = 100 * \frac{V_v}{V_t} = 100 * \frac{V_t - V_s}{V_t}$$

#### g. **Determinación de la saturación relativa**

La saturación relativa se define como el “grado o la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen fluido (agua). Se expresa

como un porcentaje en relación con el volumen total de vacíos” (Duque & Escobar, 2017).

Cálculos

$$S = \frac{G_s * W}{e} * 100$$

S = Saturación relativa (%)

$G_s$  = gravedad específica

W = humedad gravimétrica del suelo

e = relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo.

La interpretación de los resultados de la saturación relativa del suelo por el agua se realizó teniendo en cuenta el cuadro 2 sobre los grados de saturación en suelos propuesto por Martínez, 1990 (Duque & Escobar, 2017).

Cuadro 12. **Grados de saturación relativa en suelos**

Grado de saturación	Seco	Húmedo	Muy húmedo	Altamente saturado	Saturado
%	0 -25	25 - 50	50 - 80	80 - 95	95 - 100

Fuente. Datos tomados de Duque y Escobar (2017).

#### **h. Determinación de la permeabilidad del suelo**

La Permeabilidad o conductividad hidráulica, “es una medida de la capacidad del suelo para conducir el flujo de agua a través de sus poros en condiciones de saturación” (Flores & Alcalá, 2010).

Cálculos

La determinación de la permeabilidad se realizó por la fórmula más utilizada “para el cálculo indirecto de “k” en función de la granulometría, es la siguiente, desarrollada a partir de datos de bases y sub bases granulares” (Moulton, 1980).

$$k = \frac{219.2 * D_{10}^{1.478} * n^{6.654}}{P_{200}^{0.597}}$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s).

$D_{10}$  = Diámetro efectivo del material, que es el tamaño correspondiente al tamiz por el cual pasa el 10% del material en la curva granulométrica (mm).

n = Porosidad

$P_{200}$  = Porcentaje en peso del material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (número 200)

La clasificación de la permeabilidad del suelo se realizó teniendo en cuenta el cuadro 3 de clasificación del grado de permeabilidad del suelo recomendado por Martínez, 1990 (Duque & Escobar, 2017).

**Cuadro 13. Clasificación del grado de permeabilidad del suelo**

Permeabilidad K	Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja	Impermeable
cm/s	$< 10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-4}$	$10^{-4}-10^{-5}$	$10^{-5}-10^{-7}$	$10^{-7}-10^{-9}$	$>10^{-9}$

Fuente. Datos tomados de Duque y Escobar (2017).

## Anexo 6. Prueba de normalidad

### Hipótesis

Ho: Los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, conductividad eléctrica y pH del agua de la napa freática, Unida Animal Alpaca tienen una significancia mayor a 0.05 por lo cual siguen una distribución normal y son paramétricas.

Ha: Los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, conductividad eléctrica y pH del agua de la napa freática, Unida Animal Alpaca tienen una significancia menor a 0.05 por lo cual siguen una distribución no normal y son no paramétricas.

*Cuadro 14. Prueba de normalidad para los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, Unidad Animal Alpaca, Conductividad eléctrica, pH del agua de la napa freática y la riqueza de especies del bofedal Minas Corral. Ayacucho.*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Profundidad de la NapaFreática	.224	372	.000	.760	372	.000
Tipos de Vegetación	.343	372	.000	.730	372	.000
Unidad Animal alpaca	.362	372	.000	.704	372	.000
Conductividad eléctrica	.200	372	.000	.650	372	.000
pH	.121	372	.000	.937	372	.000
Riqueza de especies	.129	372	.000	.948	372	.000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

El estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov (para datos mayores de 50) con la corrección de Lilliefors presenta un nivel de significación igual a 0,000 en consecuencia se rechaza la hipótesis de normalidad, siendo los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, Unidad Animal Alpaca, Conductividad eléctrica, pH del agua de la napa freática y la riqueza de especies menor a 0.05 de significancia.

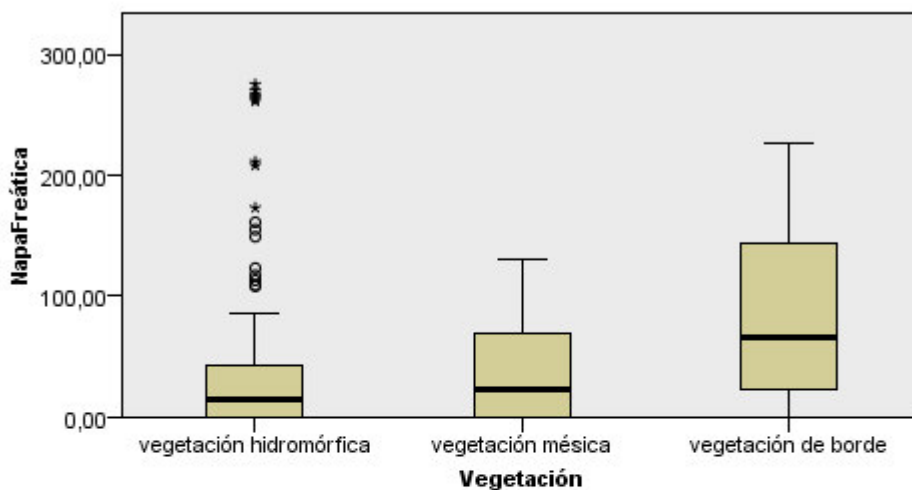
**Conclusión:** Los datos de la profundidad de la napa freática, tipos de vegetación, Unidad Animal Alpaca, Conductividad eléctrica, pH del agua de la napa freática y la riqueza de especies presentan distribución no normal y son no paramétricos.

## Anexo 7. Prueba de Kruskal-Wallis

- a. Prueba de hipótesis para determinar si los tres tipos de vegetación varían en función a la profundidad de la napa freática

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	Las medianas de Napa Freática son las mismas entre las categorías de Vegetación.	Prueba de medianas de muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
2	La distribución de Napa Freática es la misma entre las categorías de Vegetación.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.				

### Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes



<b>N total</b>	372
<b>Probar estadística</b>	37,324
<b>Grados de libertad</b>	2
<b>Sig. asintótica (prueba de dos caras)</b>	,000

1. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

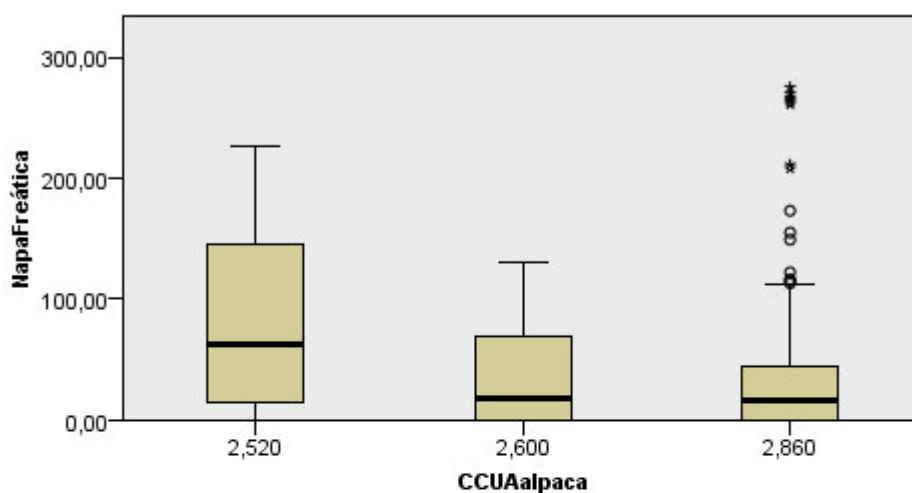
- b. Prueba de hipótesis para determinar si la condición de capacidad de carga animal varían en función a la profundidad de la napa freática

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de NapaFreática es la misma entre las categorías de CCUAalpaca.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

### Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes



<b>N total</b>	372
<b>Probar estadística</b>	28,203
<b>Grados de libertad</b>	2
<b>Sig. asintótica (prueba de dos caras)</b>	,000

1. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

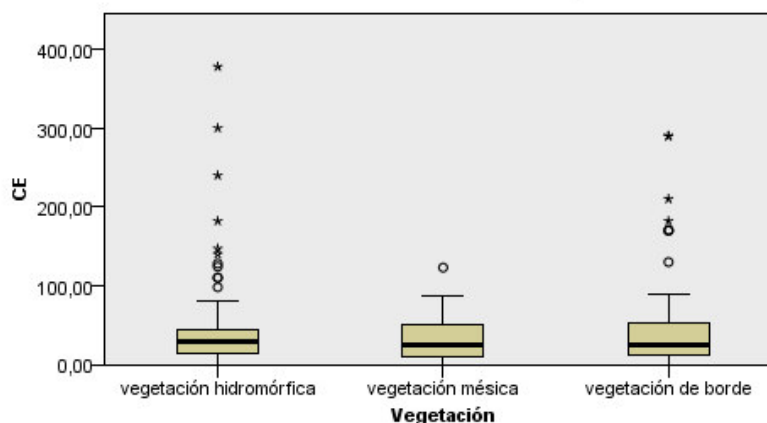
- c. Prueba de hipótesis para determinar si los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de la napa freática son similares en los tipos de vegetación en el bofedal Minas Corral.

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de CE es la misma entre las categorías de Vegetación.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,827	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de pH es la misma entre las categorías de Vegetación.	Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes	,077	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

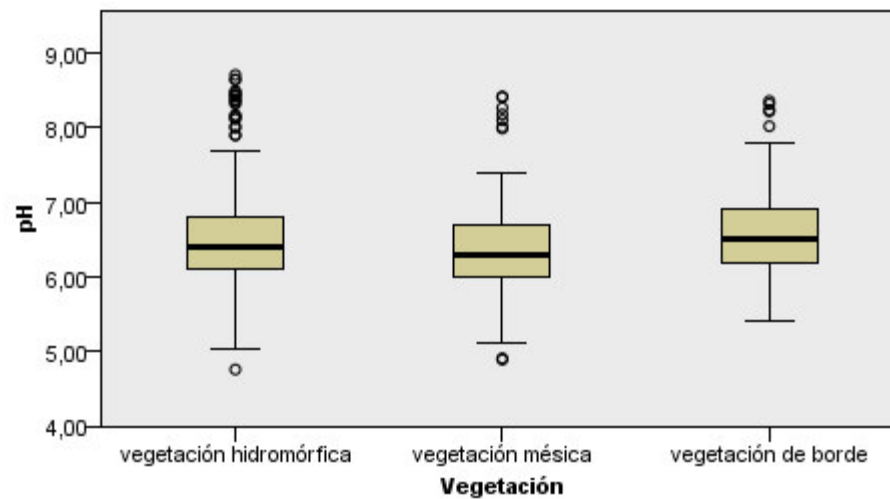
### Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes



<b>N total</b>	372
<b>Probar estadística</b>	,380
<b>Grados de libertad</b>	2
<b>Sig. asintótica (prueba de dos caras)</b>	,827

1. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.
2. No se realizan múltiples comparaciones porque la prueba global no muestra diferencias significativas en las muestras.

### Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

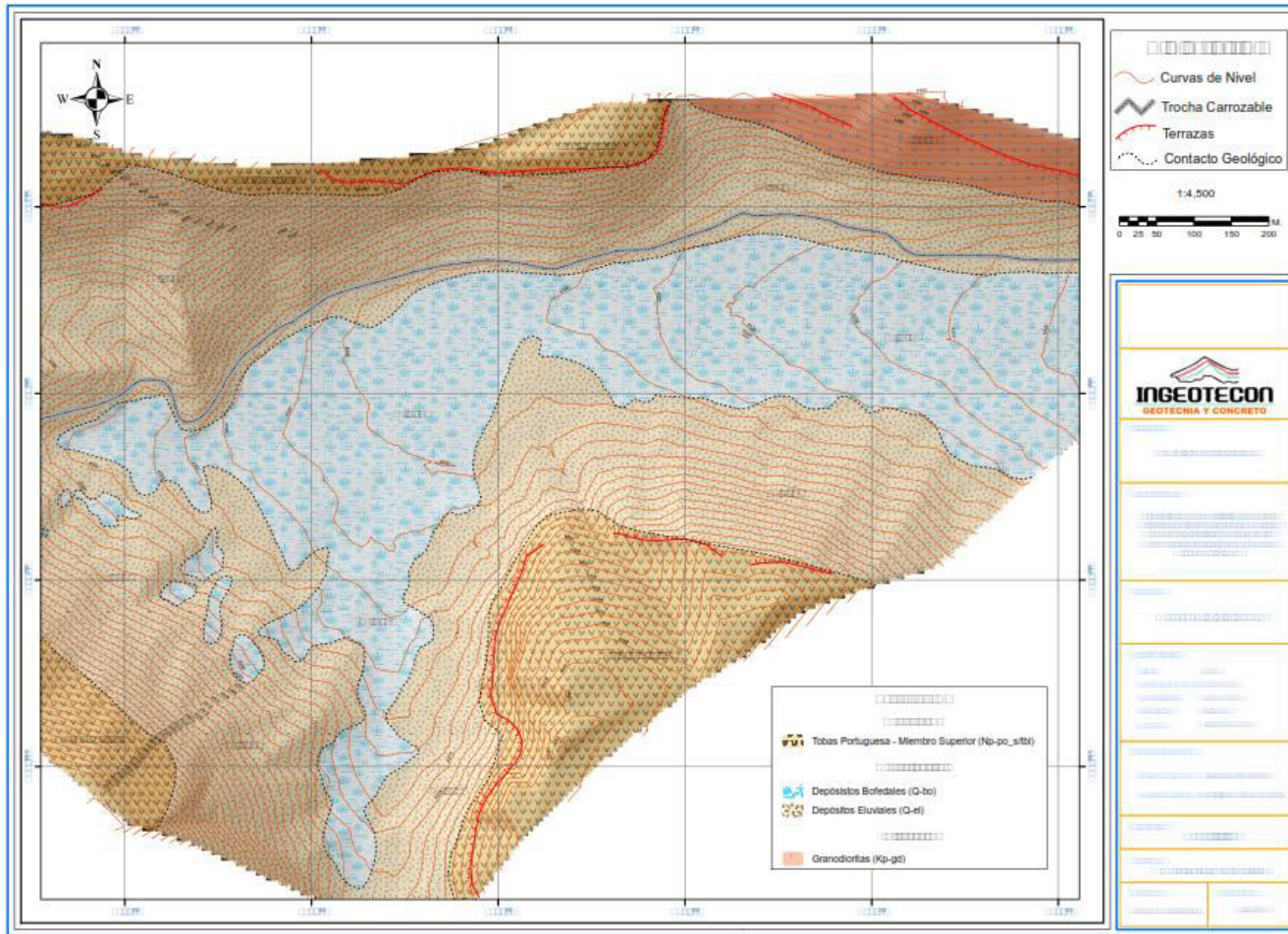


<b>N total</b>	372
<b>Probar estadística</b>	5,125
<b>Grados de libertad</b>	2
<b>Sig. asintótica (prueba de dos caras)</b>	,077

1. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.
2. No se realizan múltiples comparaciones porque la prueba global no muestra diferencias significativas en las muestras.






**Anexo 8. Litoestratigrafía local del Bofedal Minas Corral. Vinchos. Huamanga. Ayacucho.**



Fuente. Morche y otros (1996)

## Anexo 9. Estratigrafía de cinco calicatas del bofedal Minas Corral.

	
<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	OBRA : "TESIS DOCTORAL: INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA SOBRE LA VEGETACION Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS"
	LOCALIZACION : MINASCORRAL / VINCHOS / HUAMANGA / AYACUCHO
	FECHA DE REALIZACION : SETIEMBRE DE 2015
	CALICATA : <b>C - 1</b>
	UBICACIÓN EXPLORAC. : DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552885m, Norte:8531630m.
TIPO DE EXCAVACION : MANUAL	
PROFUNDIDAD : 1.50m	<b>COLUMNA</b> C - 01
NIVEL FREATICO : Se encontró a la profundidad de 1.20m medido desde la superficie.	
DESCRIPCION :	
De 0.00m a 0.50m terreno de cobertura, color negruzco, conformado por material orgánico como arcillas orgánicas OH, material suelto y compresible.	
De 0.50m a 0.80m, terreno de color beige marronESCO, conformado por una Arena Límosa con grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-2-5(0), presenta pequeña cantidad de Grava (15.9%), presenta bastante cantidad de Arena (51.1%) y presenta mucha cantidad de finos (33.0%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula (Límite Líquido 68.8%, no presenta índice plástico, lo que indica que la fracción fina esta casi exentos de arcillas), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de compactación media floja.	
De 0.80m a 1.50m, terreno de color parduzco, conformado por una Arena Límosa que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-2-4(0), presenta de poca a pequeña cantidad de Grava (11.2%), presenta bastante cantidad de Arena (76.5%) y presenta de poca a pequeña cantidad de finos (12.4%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exentos de arcillas, húmedo con presencia visible de agua, con una cementación nula, de compactación media floja.	
	





<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	OBRA	: "TESIS DOCTORAL: INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA SOBRE LA VEGETACION Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS"
	LOCALIZACION	: MINASCORRAL / VINCHOS / HUAMANGA / AYACUCHO
	FECHA DE REALIZACION	: SETIEMBRE DE 2015
	CALICATA	: <b>C - 2</b>
	UBICACION EXPLORAC.	: DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552971m, Norte:8531580m.
TIPO DE EXCAVACION	: MANUAL	

<p><b>PROFUNDIDAD</b> : 2.00m</p> <p><b>NIVEL FREATICO</b> : Se encontró a la profundidad de 1.00m medido desde la superficie.</p> <p><b>DESCRIPCION</b> :</p> <p>De 0.00m a 0.30m terreno de color negruzco, conformado Turbas - Límos Orgánicos, material suelto y compresible, de consistencia muy blanda.</p> <p>De 0.30m a 0.50m, terreno de color marronesco, conformado por una Arena Limosa orgánica con grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM-OH y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-7-5(31), presenta trazas de Grava (4.4%), presenta de mucha a bastante cantidad de Arena (50.0%) y presenta de mucha bastante cantidad de finos (45.6%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Alta (Límite Líquido 217.3%, Índice plástico de 73.1% lo que indica que la fracción fina es muy arcilloso), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia muy blanda.</p> <p>De 0.50m a 0.80m, terreno de color pardo oscuro, conformado por un Límo Orgánico con Arena que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un OH y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-7-5(41), presenta trazas de Grava (1.1%), presenta pequeña cantidad de Arena (17.9%) y presenta bastante cantidad de finos (81.0%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Alta (Límite Líquido 143.5%, Índice plástico de 22.3% lo que indica que la fracción fina es muy arcilloso), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de</p> <p>De 0.80m a 1.00m, terreno de color pardo oscuro, conformado por un Límo Orgánico con Arena que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un OH y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-7-5(48), presenta trazas de Grava (2.7%), presenta pequeña cantidad de Arena (21.3%) y presenta bastante cantidad de finos (76.1%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Alta (Límite Líquido 192.6%, Índice plástico de 24.4% lo que indica que la fracción fina es muy arcilloso), húmedo con presencia visible de agua, con una cementación nula, de</p> <p>De 1.00m a 2.00m, terreno de color pardo oscuro, conformado por una turba - Límo Orgánico Arenoso que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un Pt-OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-4(0), presenta trazas de Grava (1.4%), presenta de pequeña a mucha cantidad de Arena (29.2%) y presenta bastante cantidad de finos (69.4%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exentos arcillas, húmedo con presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia muy blanda.</p>	<p><b>COLUMNA</b></p> <p>C-02</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Escala:</th> <th>Profundidad Longitud Trabajo (m)</th> <th>SIMBOLO GRAFICO</th> <th>Muestra Clasific. SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0.30</td> <td></td> <td>M-1/E-1 Pt-OH</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.50</td> <td></td> <td>M-2/E-2 Sil A-7-5(31)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.80</td> <td></td> <td>M-3/E-3 OH A-7-5(41)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.00</td> <td></td> <td>M-4/E-4 OH A-7-5(48)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.00</td> <td></td> <td>M-5/E-5 Pt-OL A-4(0)</td> </tr> </tbody> </table>	Escala:	Profundidad Longitud Trabajo (m)	SIMBOLO GRAFICO	Muestra Clasific. SUCS		0.30		M-1/E-1 Pt-OH		0.50		M-2/E-2 Sil A-7-5(31)		0.80		M-3/E-3 OH A-7-5(41)		1.00		M-4/E-4 OH A-7-5(48)		1.00		M-5/E-5 Pt-OL A-4(0)
Escala:	Profundidad Longitud Trabajo (m)	SIMBOLO GRAFICO	Muestra Clasific. SUCS																						
	0.30		M-1/E-1 Pt-OH																						
	0.50		M-2/E-2 Sil A-7-5(31)																						
	0.80		M-3/E-3 OH A-7-5(41)																						
	1.00		M-4/E-4 OH A-7-5(48)																						
	1.00		M-5/E-5 Pt-OL A-4(0)																						

COVADONGA Mz P2 LOTE 8, CEL 966139800 - fpm #999402095 fijo: 318525, CORREO: ingotecvpq@hotmail.com, WEB: WWW.INGEOTECON.COM



<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	OBRA	: "TESIS DOCTORAL: INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA SOBRE LA VEGETACION Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS"
	LOCALIZACION	: MINASCORRAL / VINCHOS / HUAMANGA / AYACUCHO
	FECHA DE REALIZACION	: SETIEMBRE DE 2015
	CALICATA	<b>! C - 3</b>
	UBICACION EXPLORAC.	: DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:553065m, Norte:8531518m.
TIPO DE EXCAVACION	: MANUAL	

**PROFUNDIDAD** : 2.00m

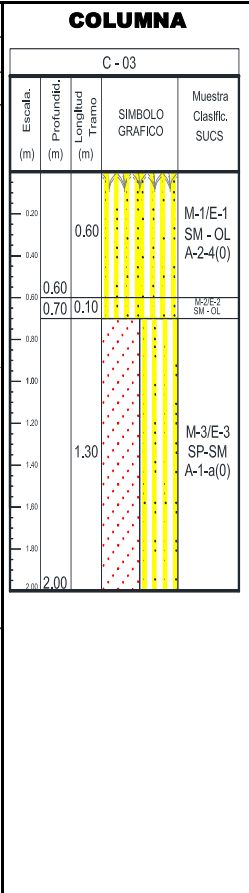
**NIVEL FREATICO** : No se encontró a la profundidad de excavación

**DESCRIPCION** :

De 0.00m a 0.60m, depósitos aluviales terreno de color negro grisáceo, conformado por estratos de Arenas Limosas orgánica con gravas que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM - OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-2-4(0), presenta trazas de Grava (4.0%), presenta bastante cantidad de Arena (76.3%) y presenta pequeña cantidad de finos (19.7%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de compactación media floja.

De 0.60m a 0.70m, terreno de color beige marronesco, conformado por una Arena Limosa orgánica con grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM - OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-1-b(0), presenta de poca a pequeña cantidad de Grava (13.9%), presenta bastante cantidad de Arena (69.9%) y presenta pequeña cantidad de finos (16.2%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia media floja.

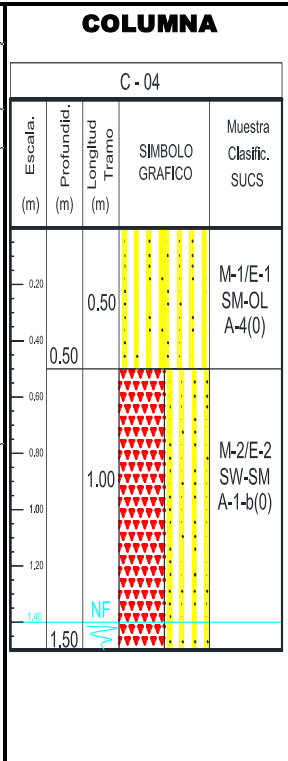
De 0.70m a 2.00m, terreno de color beige blanquecino, conformado por una Arena Mal Graduada con Limo y Grava con grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SP-SM y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-1-a(0), presenta mucha cantidad de Grava (36.4%), presenta bastante cantidad de Arena (57.9%) y presenta poca cantidad de finos (5.8%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia media floja.





<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	OBRA	: "TESIS DOCTORAL: INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA SOBRE LA VEGETACION Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS"
	LOCALIZACION	: MINASCORRAL / VINCHOS / HUAMANGA / AYACUCHO
	FECHA DE REALIZACION	: SETIEMBRE DE 2015
	CALICATA	: <b>C - 4</b>
	UBICACION EXPLORAC.	: DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este:552778m, Norte:8531372m.
TIPO DE EXCAVACION	: MANUAL	

PROFUNDIDAD :	1.50m
NIVEL FREATICO :	Se encontró a la profundidad de 1.40m medido desde la superficie.
DESCRIPCION :	De 0.00m a 0.50m, terreno de color negro grisáceo, conformado por una Arena Limosa orgánica con grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SM - OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-4 (0), presenta trazas de Grava (4.3%), presenta bastante cantidad de Arena (53.7%) y presenta mucha cantidad de finos (42.1%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de compactación media floja. De 0.50m a 1.50m, terreno de color beige blanquecino, conformado por una Arena Bien Graduada con Limo y Grava que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un SW-SM y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-1-b(0), presenta pequeña cantidad de Grava (15.2%), presenta bastante cantidad de Arena (73.8%) y presenta de poca a pequeña cantidad de finos (11.0%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de compactación media floja





<b>PARTE DE LA EXPLORACION</b>	OBRA	: "TESIS DOCTORAL: INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA SOBRE LA VEGETACION Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN BOFEDALES ALTOANDINOS"
	LOCALIZACION	: MINASCORRAL / VINCHOS / HUAMANGA / AYACUCHO
	FECHA DE REALIZACION	: SETIEMBRE DE 2015
	CALICATA	: <b>C - 5</b>
	UBICACIÓN EXPLORAC.	: DATUM: WGS84, Zona: 18 Huso: L, Este: 553658m, Norte: 8531572m.
TIPO DE EXCAVACION	: MANUAL	

**PROFUNDIDAD** : 2.00m

**NIVEL FREATICO** : Se encontró a la profundidad de 2.00m medido desde la superficie.

**DESCRIPCION** :

De 0.00m a 0.30m, terreno de color negro grisáceo, conformado por un Limo Orgánico con Arena que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un MH-OH y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-5(63), presenta trazas de Grava (1.3%), presenta de pequeña a mucha cantidad de Arena (27.5%) y presenta bastante cantidad de finos (71.2%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Baja (Limite Líquido 361.6%, índice plástico de 4.6% lo que indica que la fracción fina es poco arcilloso pero de gran compresibilidad), húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia blanda.

De 0.30m a 0.70m, terreno de color beige marronesco, conformado por un Limo orgánico con Arena que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un ML-OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-4(0), presenta trazas de Grava (1.4%), presenta de pequeña a mucha cantidad de Arena (28.6%) y presenta bastante cantidad de finos (70.0%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia media blanda.

De 0.70m a 2.00m, terreno de color marronesco, conformado por Turbas Limos orgánicos con Arenas que se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS como un Pt-OL y en el sistema de Clasificación del AASHTO como un A-4(0), presenta trazas de Grava (0.0%), presenta pequeña cantidad de Arena (20.5%) y presenta bastante cantidad de finos (79.5%), la fracción que pasa la malla N° 40 es de plasticidad Nula, lo que indica que la fracción fina esta casi exento de arcilla, húmedo sin presencia visible de agua, con una cementación nula, de consistencia muy blanda.

