

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGRÍCOLA**



**“HIDROGEOLOGÍA EN BOFEDALES ALTO ANDINOS  
CON FINES DE APROVECHAMIENTO HÍDRICO EN LA  
COMUNIDAD ROSASPATA VINCHOS – AYACUCHO 2015”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:  
SERGIO GÓMEZ PORTAL**

**AYACUCHO PERÚ  
2016**

A mis amores Sami Illari y Marisol De  
La Cruz

A mis Padres Angel Gomez y Maximiliana  
Portal

A mis tios Victor Portal Jauregui  
y Rebeca Quicaña Avilés

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Alma Mater de mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias Agrarias en especial a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola.

A la Empresa INGEOTECON EIRL por el apoyo logístico brindado, en el desarrollo del trabajo.

A la Empresa MULTISERVICIOS AGROLAB por el asesoramiento brindado en la elaboración del trabajo.

A la MSc. Ing. Sandra del Águila Ríos, por su asesoramiento en el desarrollo y elaboración del informe del trabajo de tesis.

Al MSc. Blgo. Ing. Edwin Portal Quicaña por su asesoramiento en su calidad de asesor externo por su apoyo incondicional brindado en todo el proceso del trabajo de investigación.

De igual manera agradecer al Ing. Víctor Portal Quicaña, por el apoyo incondicional, brindado en mi formación profesional y en el trabajo de tesis.

A mis Padres Angel y Maximiliana, quienes me dieron la fortaleza del espíritu y la fuerza moral para enfrentar los avatares de la vida por lo que hago suyo este trabajo.

A mis hermanas Antonia, Hercilia, Vilma y Bertha por su apoyo incondicional en mi formación profesional y personal.

A todas las personas, que de una u otra manera colaboraron en mi formación profesional y en el desarrollo del trabajo de investigación.

## RESUMEN

En los ecosistemas de altura de los andes, en las cabeceras de las cuencas existen los reguladores de caudal, conocidos como bofedales alto andinos. Estas zonas son de alta importancia en la preservación de la biodiversidad de fauna y flora andina y de los recursos hídricos principalmente para la época seca. El estudio se realizó en un bofedal de la comunidad Rosaspata ubicado en el distrito de Vinchos a 4350 msnm, en la provincia de Huamanga Región Ayacucho. Se planteó el siguiente trabajo de investigación titulado “HIDROGEOLOGÍA EN BOFEDALES ALTO ANDINOS CON FINES DE APROVECHAMIENTO HÍDRICO EN LA COMUNIDAD ROSASPATA VINCHOS – AYACUCHO 2015”. El trabajo tiene como objetivo comprender el funcionamiento hidrogeológico del bofedal altoandino. El bofedal tiene un área de 36.4ha, ubicado en la puna húmeda en la vertiente de las amazonas. Se estimaron los valores de conductividad hidráulica por el método de Auger Hule obteniéndose 0.0164 m/día, la porosidad fue de 68.31%, Los registros de la lectura de los niveles freáticos durante el año 2015 muestran que el nivel piezómetro máximo fue durante el mes de febrero y el mínimo durante el mes de octubre, con una diferencia media de 62 cm con un volumen de acumulación de agua saturada de 168,779.64 m<sup>3</sup>, cuyo valor representa el aporte al ciclo hidrológico durante el tiempo de estudio. El tiempo de residencia del agua en el sistema (bofedal) desde su ingreso hasta su salida fue calculado mediante la ecuación de Henry Darcy siendo en promedio de 462 años con una velocidad del flujo de agua de 0.554 m /año. Las características del agua del bofedal en su punto de salida reporta que el agua es de calidad apta para uso agrícola, estando sus características dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales del DS N° 002 -2008 – MINAM, su clasificación corresponde a C1 – S1, lo cual es apto para riego de vegetales de tallo alto y tallo corto.

## ÍNDICE GENERAL

I . INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Objetivos: .....	2
1.1.1    Objetivo General .....	2
1.1.2    Objetivos Específicos .....	2
II . MARCO TEÓRICO.....	4
2.1    Antecedentes del Problema .....	4
2.2    Bases Teóricas .....	6
2.2.1    Conceptos y Definiciones .....	6
2.2.2    Importancia de los bofedales .....	10
2.2.3    Hidrogeología .....	12
2.2.4    Hidrogeología Aplicada.....	13
2.2.5    Ciclo hidrológico .....	14
2.2.6    Componentes del Ciclo Hidrológico.....	14
2.2.7    El agua Subterránea .....	16
2.2.8    Los Acuíferos .....	17
2.2.9    Tipos de Acuíferos .....	18
2.2.10    Propiedades físicas de los acuíferos .....	20
2.2.11    El Gradiente Hidráulico.....	24
2.2.12    Caracterización de aguas subterráneas .....	26
2.2.13    Tiempo de residencia .....	27
2.2.14    Calidad de agua .....	27
2.3    Glosario de términos .....	28
2.4    Marco Legal.....	33
2.4.1    Constitución política del Perú.....	33
2.4.2    Ley General del Ambiente. (Ley N° 28611) .....	34
III . MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1    Descripción de zona de estudio.....	36
3.1.1    Ubicación.....	36
3.1.2    Vías de Acceso .....	39

3.2	Climatología .....	39
3.2.1	Precipitación.....	39
3.2.2	Temperatura.....	40
3.3	Geología y geomorfología .....	40
3.3.1	Volcánico Atunsulla .....	40
3.4	Uso actual del bofedal.....	41
3.5	Materiales y equipos .....	41
3.5.1	Materiales .....	41
3.5.2	Equipos y herramientas.....	42
3.6	Metodología.....	42
3.6.1	Delimitación de la zona de estudio/bofedal.....	42
3.6.2	Levantamiento topográfico .....	42
3.6.3	Instalación de Piezómetro – Pozos de Observación .....	43
3.6.4	Parámetros Hidrogeológicos del bofedal .....	43
3.6.5	Calculo de Volumen útil de almacenamiento de agua.....	46
3.6.6	Estimación del caudal, velocidad y tiempo de residencia.....	47
3.6.7	Determinación de calidad de agua del bofedal .....	48
IV	. RESULTADOS.....	49
4.1	Delimitación de Zona de estudio, microcuenca y bofedal.....	49
4.2	Levantamiento Topográfico del bofedal.....	50
4.3	Distribución y ubicación de los piezómetros instalados en el bofedal .....	50
4.4	Parámetros hidrogeológicos determinados para el bofedal Rosaspata .....	51
4.4.1	Nivel piezométrico máximo y mínimo medidos en el bofedal Rosaspata.....	51
4.5	Dirección de flujo y líneas equipotenciales .....	54
4.6	Superficie en 3D Para determinar Volumen .....	59
4.7	Calculo de volumen de agua.....	66
4.8	Resultados de cálculo de caudal “Q” y Tiempo de residencia “T” .....	66
4.8.1	Perfil longitudinal y Secciones Transversales.....	67
4.8.2	Determinación de Caudal “Q” y Tiempo de residencia “T” .....	69
4.9	Determinación de la calidad de agua con fines de riego .....	70

4.10	Aprovechamiento hídrico .....	70
V .	DISCUSIÓN .....	72
5.1	Parámetros hidrogeológicos.....	72
5.2	Volumen de almacenamiento de agua del bofedal .....	75
5.3	Tiempo de residencia del agua en el bofedal .....	78
5.4	Calidad de agua. ....	80
VI .	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1	CONCLUSIONES .....	82
6.2	RECOMENDACIONES .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Profundidad de la napa freática medidos en las épocas seca y húmeda en el bofedal Rosaspata .....	51
Tabla 2. Conductividad hidráulica determinados in situ en el bofedal Rosaspata ..	52
Tabla 3. Porosidad de las muestras de suelo del bofedal Rosaspata.....	52
Tabla 4. Porosidad efectiva del suelo del bofedal de Rosaspata .....	53
Tabla 5. Resultados del cálculo del Volumen .....	66
Tabla 6. Caudal y tiempo de residencia del agua del bofedal Rosaspata.....	69
Tabla 7. Resultados del análisis de agua del bofedal Rosaspata .....	70
Tabla 8. Consumo de agua de camélidos en el bofedal.....	70
Tabla 9. Consumo de agua de pastos naturales del bofedal.....	71
Tabla 10 Clasificación de conductividad hidráulica.....	73
Tabla 11. Clasificación de las clases texturales del suelo de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; así como las porosidades efectivas y conductividades hidráulicas de las 12 clases texturales. (Charbeneau, 2000 y Bedient et al., 1994) .....	74
Tabla 12. Porosidad eficaz .....	75
Tabla 13. Porosidad de los suelos.....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del ciclo hidrológico. ....	15
Figura 2. Aguas subterráneas .....	17
Figura 3. Pozos en acuíferos libres y confinados.....	20
Figura 4. Flujo de un líquido a través de un medio poroso mediante un tubo inclinado .....	23
Figura 5. Gradiente hidráulico en un acuífero .....	24
Figura. 6 Niveles piezómetro de un acuífero.....	25
Figura 7. Mapa de ubicación del bofedal Rosaspata. Vinchos.....	38
Figura 8. Precipitación anual .....	39
Figura 9. Temperatura anual .....	40
Figura 10. Delimitación del bofedal y de la microcuenca de estudio.....	49
Figura 11. Plano Topográfico del bofedal y área tributaria .....	50
Figura 12. Distribución y ubicación de los piezómetros en el bofedal.....	50
Figura 13. mapa de Hidroisohipsas en la época de lluvia del bofedal Rosaspata. 54	
Figura 14. Mapa de Hidroisohipsas en la época seca del bofedal Rosaspata.....	55
Figura 15. líneas de flujo y Hidroisohipsas para la época de lluvias del bofedal Rosaspata .....	56
Figura 16. Líneas de flujo y Mapa de Hidroisohipsas para la época seca del bofedal Rosaspata .....	57
Figura 17. Mapa de isopropfundidades del bofedal Rosaspata.....	58
Figura 18. Superficie del terreno natural del bofedal .....	59
Figura 19. Superficie piezométrica mínimo y máximo del bofedal Rosaspata.....	60
Figura 20. Superficie piezométrica y terreno natural del bofedal Rosaspata.....	61
Figura 21. Superficie en vista desde margen derecho del bofedal Rosaspata .....	62

Figura 22. Superficie en vista desde margen izquierdo del bofedal Rosaspata ....	63
Figura 23. Superficie en vista desde parte inferior del bofedal Rosaspata .....	64
Figura 24. Superficie vista desde parte superior del bofedal Rosaspata .....	65
Figura 25. Perfil longitudinal de las tres superficies determinadas en el bofedal Rosaspata .....	67
Figura 26. Secciones Transversales de las tres superficies determinadas en el bofedal Rosaspata .....	68

## I . INTRODUCCIÓN

El abastecimiento hídrico fiable y de calidad para las personas y para las actividades productivas se ha convertido en los últimos años en una cuestión de la mayor importancia. Diversos organismos internacionales coinciden en que la viabilidad a largo plazo de los abastecimientos solo puede ser asegurado mediante la utilización sostenible del recurso agua en los diferentes sistemas de explotación.

Una cuenta del suministro de agua del mundo revelaría que el agua salina de los océanos representa el 97,4% del total. Las áreas de tierra ocupan el 4,8% del total. Las capas de hielo y glaciares tienen 4,14% de agua del suelo a una profundidad de 13.000 pies (ft) (4000 metros) representa el 0,61% del total; la humedad del suelo, 0,005%; lagos de agua dulce, el 0,0001%, y lagos de agua salada, 0.008%. Más del 75% del agua en las zonas de tierras está bloqueado en el hielo glacial o es salina (Fetter, 2000).

Los bofedales son humedales altoandinos con alta fragilidad ecosistémica, por su dependencia de aguas subterráneas y superficiales. Parte de su importancia radica en que mantienen los recursos acuáticos y purifican el agua además de ser utilizados

como alimento para el ganado ovino, vacuno y para los camélidos sudamericanos (llama, alpaca y vicuñas). La problemática de los humedales y bofedales en el Perú, tiene sustento, en parte, en el factor climático; sin embargo, es la actividad humana, manifestada en: la agricultura no sostenible, el pastoreo excesivo, la minería, entre otras, la causa principal de su degradación y destrucción. Los bofedales por su composición geológica considerados como grandes embalses naturales por su capacidad de almacenamiento, poca transmisión de flujo y estar totalmente saturado especialmente en las épocas de lluvia, el rol que juegan los bofedales como reguladores de caudal en las comunidades dependientes de recurso hídrico. (Soliz, 2011)

Para el presente trabajo de investigación ubicado en el bofedal alto andino en la comunidad Rosaspata del distrito Vinchos, provincia de Huamanga de la región Ayacucho, por lo expresado es necesario conocer ¿Cuánta agua almacena el bofedal?, ¿Cuánto tiempo se almacena el agua en el bofedal según el caudal?, ¿Cuánto es el aporte de este caudal al ciclo hidrológico?, para cuyo efecto se planteó los siguientes objetivos.

## **1.1 Objetivos:**

### **1.1.1 Objetivo General**

Determinar las características hidrogeológicas y capacidad de almacenamiento del bofedal alto andino en la comunidad Rosaspata Vinchos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar los principales parámetros hidrogeológicos, porosidad, conductibilidad hidráulica y el nivel piezométrico máximo y mínimo del bofedal alto andino en la comunidad Rosaspata Vinchos.
2. Cuantificar la capacidad de Volumen útil anual del bofedal alto andino en la comunidad Rosaspata Vinchos.

3. Calcular el tiempo aproximado de residencia de almacenamiento del recurso hídrico en el bofedal alto andino Rosaspata Vinchos.
4. Determinar la calidad de agua del bofedal con fines de riego

## **II . MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes del Problema**

Soliz en el año 2011 elaboró el 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, en el cual Sostuvo que:

El cambio climático, los glaciares andinos en desaparición y el rol que juegan los bofedales como reguladores de caudal en zonas o comunidades dependientes del recurso hídrico proveniente de glaciares son la base de discusión de este proyecto de investigación, en nuestro caso los bofedales humedales de Illimani. Aunque el enfoque es sobre hidrogeología de bofedales, la relación que guardan éstos con los glaciares y el cambio en su comportamiento debido al cambio climático son tópicos de mucho interés por la comunidad científica que busca otras soluciones recursos y estrategias para hacer frente a los fenómenos climáticos. Dentro de este marco contextual, se tienen grandes avances, no sólo por los estudios realizados sino también por las instituciones locales, nacionales e internacionales, que van aportando tecnología de punta y equipos multidisciplinarios interés a dos en este

ámbito, pero el componente hidrogeológico es una de las debilidades de estos equipos, ya que, en primera instancia no se cuenta con profesionales del área; no se puede conseguir el equipo fácilmente, e incluso hay retractores que prefieren no incurrir en estudios de aguas subterráneas subestimando su potencial hídrico. Una prueba de la relación entre cambio climático y el recurso hídrico de la zona de estudio, son los comúnarios quienes, mucho antes de ser advertidos por el cambio climático, ya efectuaban prácticas agrícolas muy diferentes a las que estaban acostumbrados debido al incremento de temperatura, ahora tienen que empezar a lidiar con problemas referidos a la gestión y manejo del agua, necesitando ellos de capacitación y estrategias de adaptación previendo futuros escenarios probables, estrategias que solo se pueden obtener a partir de una investigación de todos los componentes que intervienen en el ciclo hidrológico: Hidrología superficial e hidrogeología.

Rodolfo Iturraspe en el año 2000 Publica en el estudio: Conservación de ecosistemas a nivel mundial con énfasis en las turberas de tierra del fuego. Disertaciones y conclusiones Ushuaia, Argentina menciona que:

Numerosos autores han estudiado las turberas de Tierra del Fuego con diversos enfoques: geomorfológico, biogeográfico, taxonómico, y como recurso económico. Sin embargo, no hay estudios sistemáticos referentes a la hidrología de turbales, aunque en el hemisferio Norte, con mayor énfasis a partir de la década del 70, numerosos investigadores han tratado el tema en profundidad, atendiendo no sólo a la extracción de turba sino también a la importancia de los procesos hidrológico en el desarrollo y sustentabilidad de este tipo de ecosistemas. La inexistencia de información sobre aspectos hidrológicos subterráneos, sub superficiales e incluso superficiales de los ambientes de turba en Tierra del Fuego, motivó este trabajo, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento de la dinámica hídrica en turbales de

Sphagnum Magellanicum del tipo ombrotrófico y obtener conclusiones preliminares que aporten a la evaluación de la capacidad de regulación de estas unidades, desde el punto de vista de la interceptación de precipitación y de la erogación de escurrimiento.

Lorini H. en el año 2013, en el proyecto Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama. Agua Sustentable, La Paz, Bolivia concluye, que:

Los bofedales son unidades de vegetación con plantas adaptadas a drásticas condiciones climáticas y a la presencia casi constante de agua en el suelo. Los bofedales se forman en la naturaleza en zonas geo ecológicas tales como las del macizo andino, ubicadas sobre los 4.000 m de altitud, en planicies que almacenan agua proveniente de las precipitaciones, deshielo de glaciares y principalmente alumbramientos superficiales de aguas subterráneas, por ello son ecosistemas frágiles que pueden ser fácilmente alterados si no se manejan sosteniblemente. Los bofedales son un tipo de pradera nativa con vegetación siempre verde, suculenta, de elevado potencial forrajero y producción continua, categorizados comúnmente como un tipo de humedal. Los humedales son áreas de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos, donde la napa freática aflora en la superficie o donde el agua se acumula sobre suelos de baja permeabilidad. Los humedales se forman en depresiones y zonas con bajas pendientes topográficas, donde la velocidad de escurrimiento del agua es notoriamente menor a la que rige el escurrimiento superficial sobre las laderas

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Conceptos y Definiciones**

Los bofedales llamados también “oconales” o “turberas”, constituyen ecosistemas hidromórficos distribuidos a manera de “parches” en la región andina, a partir de



3800 m.s.n.m., principalmente en la zona sur y la zona central del país. Ocupan una superficie aproximada de 509, 381 ha (0.40% de la superficie nacional), sin incluir las áreas menores de 25 ha.

Estos humedales altoandinos se encuentran ubicados en los fondos de valle fluvio-glacial, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales. Se alimentan del agua proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (puquial) y de la precipitación pluvial. Los suelos permanecen inundados permanentemente con ligeras oscilaciones durante el periodo seco y se han formado a partir de materiales parentales de origen fluvio-glacial, glacial, aluvial y coluvio-aluvial localizados en las depresiones de las superficies planas y ligeramente inclinadas. La poca disponibilidad de oxígeno debido al drenaje pobre favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de raíces muertas de las plantas. (MINAM, 2009).

Los bofedales llamados también “turberas”, “vegas andinas”, “oconales”, “cenegales”, “humedales” y otros, son un tipo de pradera nativa poco extensa con humedad permanente, vegetación siempre verde y de elevado potencial productivo. Se caracterizan por localizarse en suelos hidromorfos húmedos o empapados donde se maximiza la utilización del agua, la producción forrajera es continua, mantienen una carga animal apreciable, principalmente alpacas y otros herbívoros en pastoreo mixto y generalmente continuo (Alzérreca, 1988).

El bofedal es “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”. Bofedal presenta un perfil constituido por una masa fibrosa de plantas herbáceas vivas y en distintos estados de descomposición. Por las condiciones de clima, la descomposición de la materia orgánica es lenta; la profundidad del perfil turbosa varía entre algunos

decímetros a varios metros. La turba se asocia a material mineral, generalmente ceniza volcánica y presenta cierta estratificación de tipo aluvio-coluvial. El bofedal se mantiene permanentemente saturado y es alimentado por vertientes que aportan sales solubles. (Olivares, 1988).

Los bofedales son conocidos también como jok'os, humedales, los mismos se originan en forma natural o artificial. Su formación natural es producto del escurrimiento del agua proveniente de las partes altas o nevados, y su formación artificial se origina efectuando el riego bajo el sistema de inundación. La formación del bofedal ocurre en sitios donde el drenaje es imperfecto, modificándose la composición florística, así como las características de los suelos. Los bofedales mantienen una coloración verde durante un buen tiempo del año, por efecto de la humedad constante proporcionada por el suministro de agua. El forraje producido es de buena calidad nutritiva, además cumple un rol estratégico en el pastoreo del rebaño, soportando una buena carga animal durante la mayor parte del año. (Sotomayor, 1990).

Es el tipo de pradera más importante y más estratégica para los alpaqueros porque resuelve el problema de disponibilidad de pastos en los meses secos y fríos del año. En época de lluvias, los bofedales están en descanso. (Pacheco, 1998)

Tal como define la Convención, en los humedales se incluye una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses. (Ramsar, 1971).

Los bofedales son humedales altoandinos con alta fragilidad ecosistémica, por su dependencia de aguas subterráneas y superficiales. Parte de su importancia radica en que mantienen los recursos acuáticos y purifican el agua además de ser utilizados como alimento para el ganado ovino, vacuno y para los camélidos sudamericanos (llama, alpaca y vicuñas). La problemática de los humedales y bofedales en el Perú, tiene sustento, en parte, en el factor climático; sin embargo, es la actividad humana, manifestada en: la agricultura no sostenible, el pastoreo excesivo, la minería, entre otras, la causa principal de su degradación y destrucción. El Perú entre otros países del ámbito iberoamericano, ha ratificado y por tanto ha asumido la obligación de aplicar el “Convenio relativo a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitats de aves acuáticas”. En la actualidad existen 13 lugares incluidos como sitios RAMSAR; sin embargo, hay muchos ecosistemas que no cuentan con esa certificación que garantiza su protección.

Bolivia en su zona altiplánica posee una gran cantidad de bofedales y ha legislado específicamente este tema con una ley de reciente data, mediante la cual enfatiza la prioridad que tiene para el estado su protección; sin embargo, permite su uso siempre que este sea sustentable. España cuenta con una legislación especializada sobre la protección y conservación de los humedales; es el país que en Europa comanda su tutela considerando a los humedales patrimonios universales. Para el caso Paraguay y Venezuela, países elegidos para este informe por sus características especiales, existe una común expresión: los humedales para ellos vienen a constituirse en uno de los ecosistemas más productivos y de mayor importancia, los cuales les proporcionan elementos para su subsistencia y desarrollo. Para la ley peruana, los humedales, dentro de ellos los bofedales, están comprendidos dentro de los ecosistemas frágiles; así lo establece el artículo 99 de la Ley 48611 Ley General del Ambiente de 15 de octubre de 2005. (Cáceres 2013).

Muchos humedales de todo el mundo están estrechamente asociados con las aguas subterráneas. Por ejemplo, un humedal puede depender del caudal procedente de un acuífero que le sirva de fuente de alimentación de agua, o bien la filtración hacia abajo del agua del humedal puede recargar un acuífero. En tales casos, la hidrología del acuífero y la salud del ecosistema de humedal están íntimamente conectadas. Es importante tener en cuenta que esta relación puede verse alterada por cambios en el acuífero, como la extracción de aguas freáticas, o en el humedal, por ejemplo, por disminución de la inundación natural de los humedales que cubren los acuíferos. (Ramsar, 1971)

“Los Bofedales son áreas que presentan humedad constante. Se desarrollan en zonas relativamente planas o en los alrededores de pequeñas lagunas. La humedad constante genera una flora específica de color verde, de alta digestibilidad y alto contenido proteico, que contrastan con los pastos de secano que los rodean. Son locales privilegiados de alimentación especialmente para alpacas, y son únicas fuentes para los animales en la estación seca”. El Plan Director del Sistema TDPS (1993)

### **2.2.2 Importancia de los bofedales**

1. **Sociocultural**, manifestado en el mensaje hacia las generaciones venideras respecto a los derechos y obligaciones en el uso de la tierra y los recursos naturales. Para una planificación consiente del manejo de bofedales se debe recordar que debido a su presencia se ha desarrollado una cultura pastoril desde hace más de 3000 años, en zonas climáticas con severas restricciones para otras actividades humanas. Así en el sur de los andes centrales, en climas áridos y semiáridos la ganadería sobre campos naturales de pastoreo es posible por la presencia de los bofedales y la causa para que en su entorno hayan prosperado culturas nativas de

pastores de camélidos. Durante la colonia gran parte de los camélidos fueron desplazados de los bofedales ubicados en zonas bajas de la planicie altiplánica y remplazados por la cría de ovinos y vacunos, y una apreciable extensión fue transformada a tierras agrícolas perdiéndose un recurso natural importante apto para pastoreo. (Cardozo, 1996).

2. **Económico**, los bofedales producen forraje que es el motivo de la producción de ganado camélido e introducido, esta ganadería genera una actividad económica única posible en estos medios ambientes, importante a través de la producción de carne, lana, cueros, estiércol, reproductores, exportación de animales vivos, etc. para más de 17.000 personas y actividades derivadas como la artesanía, agricultura, carne salada, embutidos, curtiembre, etc. para gran cantidad de familias rurales y urbanas. En forraje la producción anual promedio es de aproximadamente 4535.8 kgMS/ha \* 104340.7 ha = 464.197 tm, 448 tm de fibra de alpaca y 150 tm de carne. Entre fibra, carne y cueros producidos al año se genera más de 1.000.000 de dólares americanos (Cardozo 1988 y Suarez 1995). Considerando solo las alpacas, como principal animal que se cría en los bofedales, se tiene una población cercana a 345.000 cabezas a las que se dedican más de 3.400 familias generando anualmente más de 4.3 millones de bolivianos al año (Cardozo, 1996).
  
3. **Ecológico**, al ser los bofedales ecosistemas clave en un medio con severas limitaciones climáticas y edáficas para la producción agrícola, constituyen hábitats y nichos para numerosas especies de fauna y flora nativa y, por otra parte, tienen una influencia definitiva en el microclima local, atemperando los rigores de la sequedad medioambiental del clima subhúmedo, árido y semiárido en el largo periodo seco de invierno. Al proveer forraje verde durante la época invernal, definitivamente permite

la producción secundaria, que de otra manera se vería muy reducida o sería nula en un entorno de desertificación. (Cardozo,1996).

### **2.2.3 Hidrogeología**

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov, 1989).

La Hidrología subterránea o Hidrogeología puede definirse como “el estudio geológico de las aguas subterráneas”, o bien, “aquella parte de la Hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en el interior de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones, sus reacciones a la acción antrópica, etc”. (Gil 2005)

Enfatiza que el avance hidrológico y particularmente hidrogeológico para estudiar los problemas de agua en medios cársticos, consiste en propuestas de aplicación de estadística matemática y optimización en estimación de parámetros, las cuales son una herramienta potencialmente más versátil en la obtención de nuevos resultados de investigaciones que los modelos físicos clásicos de acuíferos cársticos y sistemas de canales subterráneos. En vista desde una nave espacial, la Tierra parece tener un elenco azul-verde debido a las grandes cantidades de agua que cubre el globo. Los océanos pueden ser oscurecidos por oleadas de remolinos de nubes. Las grandes cantidades de agua se distinguen la tierra de los otros planetas del sistema solar. Hidrología es el estudio del agua. En el sentido más amplio, la hidrología anuncio se refiere a la presencia, distribución, circulación y la química de todas las aguas de la tierra. Hidrogeología abarca las

interrelaciones de los materiales geológicos y procesos con agua. (Un término similar, geohydrology, a veces se utiliza como sinónimo de la hidrogeología.) La fisiografía, geología superficial, y la topografía de una cuenca de drenaje y la vegetación, que influyen en la relación entre la precipitación sobre la cuenca y de drenaje de agua de la misma. La creación y la distribución de la precipitación están fuertemente influenciadas por la presencia de cadenas montañosas y otras características topográficas. El agua y el funcionamiento de tierra son los agentes geológicos que ayudan a dar forma a la tierra. El movimiento y la química de las aguas subterráneas dependen en gran medida de la geología. Hidrogeología es a la vez descriptiva y una ciencia analítica. Tanto en el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos son parte importante de la hidrogeología también. Una cuenta del suministro de agua del mundo revelaría que el agua salina de los océanos representa el 97,4% del total. Las áreas de tierra ocupan el 4,8% del total. Las capas de hielo y glaciares tienen 4,14% de agua del suelo a una profundidad de 13.000 pies (ft) (4000 metros) representa el 0,61% del total; la humedad del suelo, 0,005%; lagos de agua dulce, el 0,0001%, y lagos de agua salada, 0.008% (Feth 1973). Más del 75% del agua en las zonas de tierras está bloqueado en el hielo glacial o es salina. (Fetter 2000)

#### **2.2.4 Hidrogeología Aplicada**

Muchos de los temas comprendidos en el rubro general de la hidrogeología. Estos incluyen temas tan diversos como el papel de los fluidos en el plegamiento de un fallamiento de las rocas, fluidos hidrotermales y la formación de minerales, hundimiento de la tierra, la energía geotérmica, la cueva y la formación kárstica, y el agua como recurso.

En este texto se considera el tema del agua como recurso. Los estudios clásicos en hidrogeología centrada en el tratamiento matemático de flujo a través de medios

porosos o en una descripción geológica general de la distribución de la formación de roca en la que se produce el agua subterránea. Una vez en cuando incluso encuentra un artículo que describe el flujo teórico de fluidos a través de un medio poroso idealizado que probablemente no ocurre en la naturaleza. Del mismo modo, muchos informes sobre la geología de las aguas subterráneas de una zona no hicieron ningún intento de evaluar. Hidrogeología Aplicada integra la ocurrencia geológica de agua con la descripción matemática de su movimiento y su estado químico. Resultados típicos de la investigación hidrogeológica aplicada podrían incluir planes para el desarrollo de un suministro de agua subterránea, la determinación de la zona de captura de un campo bien para protegerlo de la contaminación, la evaluación del impacto de un plan de desagüe de minas en los cuerpos de agua superficial suprayacente, o la delimitación de una columna de agua subterránea contaminada. Hidrogeólogos son solucionadores de problemas y tomadores de decisiones. Identifican un problema, definir las necesidades de datos, el diseñar un programa de campo para la recolección de los datos, proponer alternativas de solución al problema, y implementar la solución preferida. (Fetter, 2000)

### **2.2.5 Ciclo hidrológico**

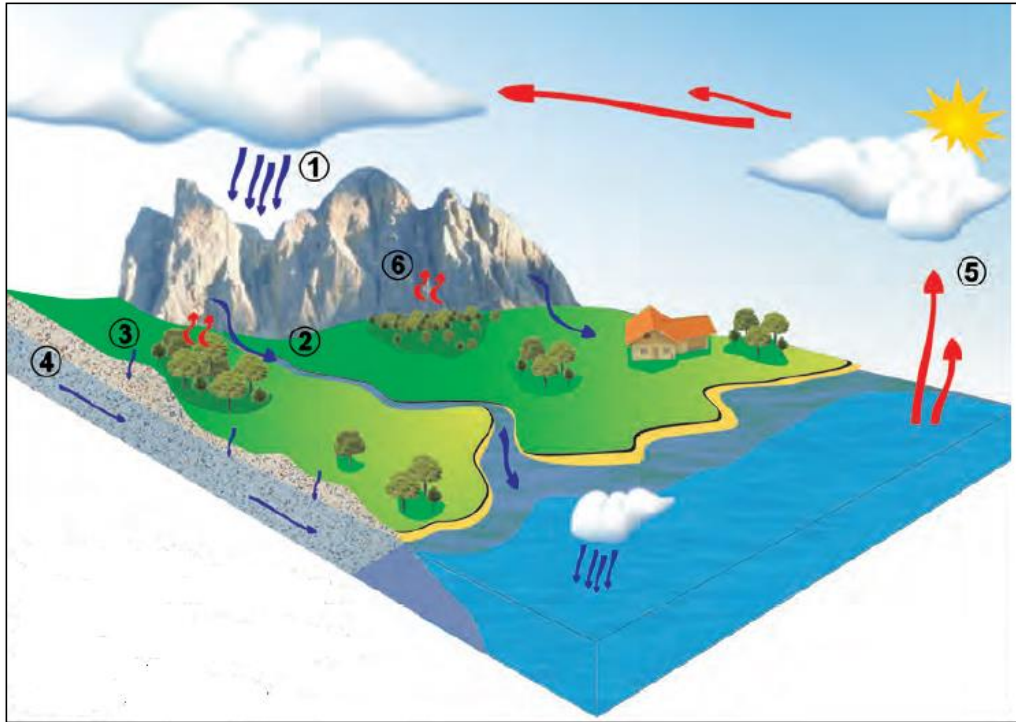
Casi toda el agua subterránea existente en la tierra tiene origen en el ciclo hidrológico, que es el sistema por el cual el agua circula desde océanos y mares hacia la atmósfera y de allí hacia los continentes, donde retorna superficial o subterráneamente a los mares y océanos (Fig. 1). Los factores que influyen en los procesos del ciclo hidrológico son fundamentalmente los factores climáticos, como la temperatura del aire, intensidad de los vientos, la humedad relativa del aire y la insolación y el tipo y densidad de la cobertura vegetal. (Collazo y Montaña 2012)

### **2.2.6 Componentes del Ciclo Hidrológico**

#### **1. Precipitación**



2. Esgurrimiento superficial
3. Infiltración
4. Esgurrimiento subterráneo
5. Evaporación
6. Evapotranspiración



**Figura 1.** Componentes del ciclo hidrológico.

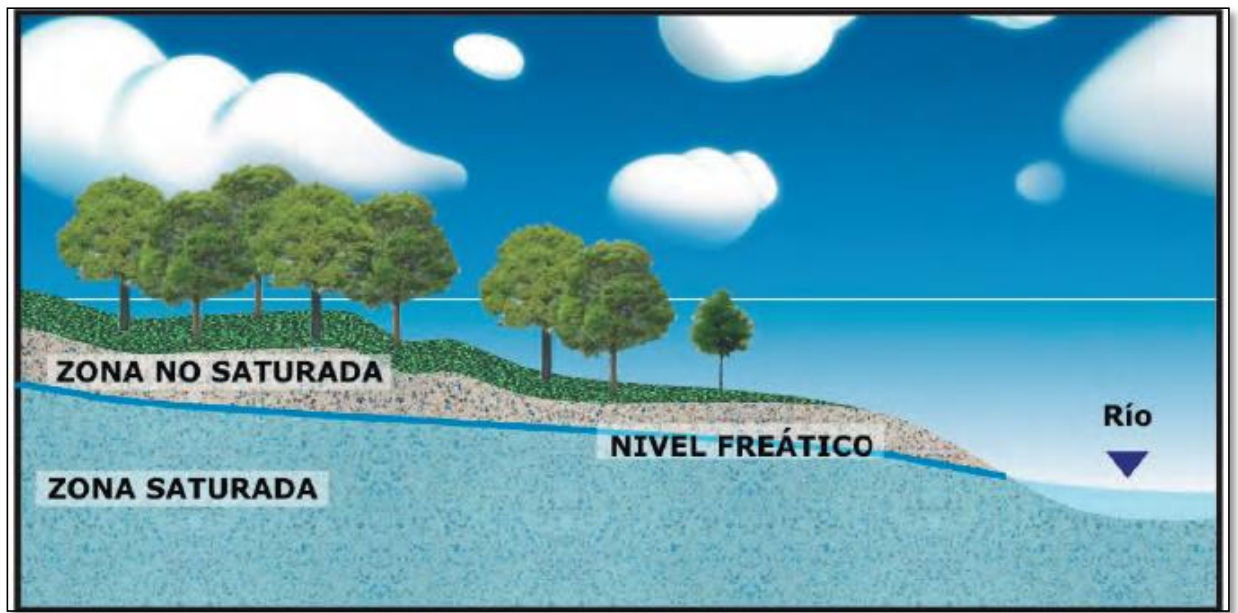
- 1. Precipitación:** es la caída del agua en estado líquido o sólido sobre la superficie terrestre. Es la fuente principal de la formación de las aguas de la tierra, ríos, lagos, aguas subterráneas y glaciares. El valor de la precipitación en una cuenca o región, se obtiene a partir de registros pluviométricos.
- 2. Evaporación:** Es el proceso por el cual el agua de la superficie terrestre pasa del estado líquido al vapor, siendo la energía solar el principal factor desencadenante del proceso.

3. **Evapotranspiración:** es el agua evaporada a partir del tenor de humedad del suelo y transpiradas en el proceso de desarrollo de las plantas.
4. **Escorrentamiento superficial:** es el proceso por el cual el agua de lluvia precipitada en la superficie de la tierra fluye por acción de la gravedad desde las partes más altas hacia las más bajas, confluendo en ríos, arroyos y otros cuerpos de agua.
5. **Escorrentamiento sub-superficial:** es la precipitación que llega a infiltrarse en el suelo y circula lateralmente a pequeñas profundidades, sin llegar a la zona saturada y reaparece en superficie, incorporándose al escorrentamiento superficial.
6. **Escorrentamiento subterráneo:** es parte del agua precipitada que se infiltra y llega a la zona saturada, recargando los acuíferos. (Collazo y Montaña 2012)

#### **2.2.7 El agua Subterránea**

Es el agua que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración.

Otras fuentes de alimentación localizada pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales. Su movimiento en los acuíferos es desde zonas de recarga a zonas de descarga, con velocidades que van desde metro/año a cientos de m/día, con tiempos de residencia largos resultando grandes volúmenes de almacenamiento, aspectos característicos del agua subterránea.



**Figura 2.** Aguas subterráneas

### 2.2.8 Los Acuíferos

Denominan **acuífero** a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación.

No todas las formaciones geológicas tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible extraerla, son los llamados **acuicludos** (ej. arcillas), otras formaciones no son capaces de almacenar ni transmitir el agua subterránea, son impermeables y a éstas se las llama **acuífugos** (ej. Granitos, gneiss) y por último encontramos los **acuitardos** (ej. limos, limos arenosos), que son formaciones semipermeables, que transmiten el agua muy lentamente y que resulta muy difícil su extracción mediante obras de captación, pero que son importantes para la recarga de acuíferos subyacentes, debido a la posible filtración vertical o drenaje.

**Acuíferos** aquella formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua susceptible de ser explotada en cantidades económicamente apreciables para atender diversas necesidades. Rocas y sedimentos que almacenan y transmiten agua, v.g.: caliza, yeso. (Permeabilidad alta). (Collazo y Montaña 2012)

### **2.2.9 Tipos de Acuíferos**

#### **1. *Acuíferos libres no confinados o freáticos***

También llamados no confinados o freáticos. En ellos existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica.

El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija, sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas.

Si perforamos total o parcialmente la formación acuífera, la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real: superficie freática o piezométrica, que coinciden.

#### **Flujo en acuífero libre**

La ecuación general del flujo derivada anteriormente es en principio aplicable a todo el caso, siempre y cuando el flujo sea laminar, porque en caso contrario la ecuación de darcy deja de ser válida. No obstante, en algunas situaciones la ecuación general es muy difícil de aplicar, como sucede en el caso de un acuífero libre, porque en este, las condiciones de contorno son variables en el tiempo. En efecto, el límite de la zona saturada (condición de contorno de presión = presión atmosférica) se mueve, y a la vez esta variación es justamente uno de los resultados de la resolución de la ecuación, ya que esta es precisamente la distribución del potencial hidráulico  $h(x, y,$

z, t). Por eso, es mucho más sencillo derivar una forma específica de la ecuación de flujo adaptada a esta situación.

Para estudiar el flujo en acuífero libre, se efectúa un balance análogo al del caso general, pero considerando un volumen de control diferente. El volumen de control será un prisma cuya altura coincide con el espesor del acuífero, decir  $z = h$ . En este caso el flujo se supone prácticamente horizontal, y por lo tanto en las direcciones x e y, pero también es preciso tener en cuenta que puede haber entradas a través de la cara superior, por infiltración de lluvia por ejemplo. Ya se ha adelantado que la compresibilidad del agua juega un papel casi nulo, por tanto, se puede hacer un balance de volúmenes en vez de uno de masas, mucho más riguroso, como se hizo al derivar la ecuación general. El volumen de control será ahora será un paralelepípedo limitado bajo la base impermeable del acuífero. El balance se realiza entre los instantes  $t$  y  $t + \Delta t$ . (FCIHS – 2009)

**2. Acuíferos confinados** También llamados cautivos, a presión o en carga.

El agua está sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. No existe zona no saturada.

Si perforamos, el nivel de agua asciende hasta situarse en una determinada posición que coincide con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga.

Si la topografía es tal que la boca del pozo está por debajo del nivel del agua, el pozo es surgente o artesiano; si no es así el nivel del agua ascenderá hasta el nivel correspondiente, pero no será surgente.

La superficie piezométrica es una superficie ideal resultante de unir todos los niveles en diferentes perforaciones que capten el acuífero.

### 3. Acuíferos semiconfinados

El muro y/o techo no son totalmente impermeables, sino que son acuitardos y permiten la filtración vertical del agua y, por tanto, puede recibir recarga o perder agua a través del techo o de la base. Este flujo vertical sólo es posible si existe una diferencia de potencial entre ambos niveles. (FCIHS – 2009)

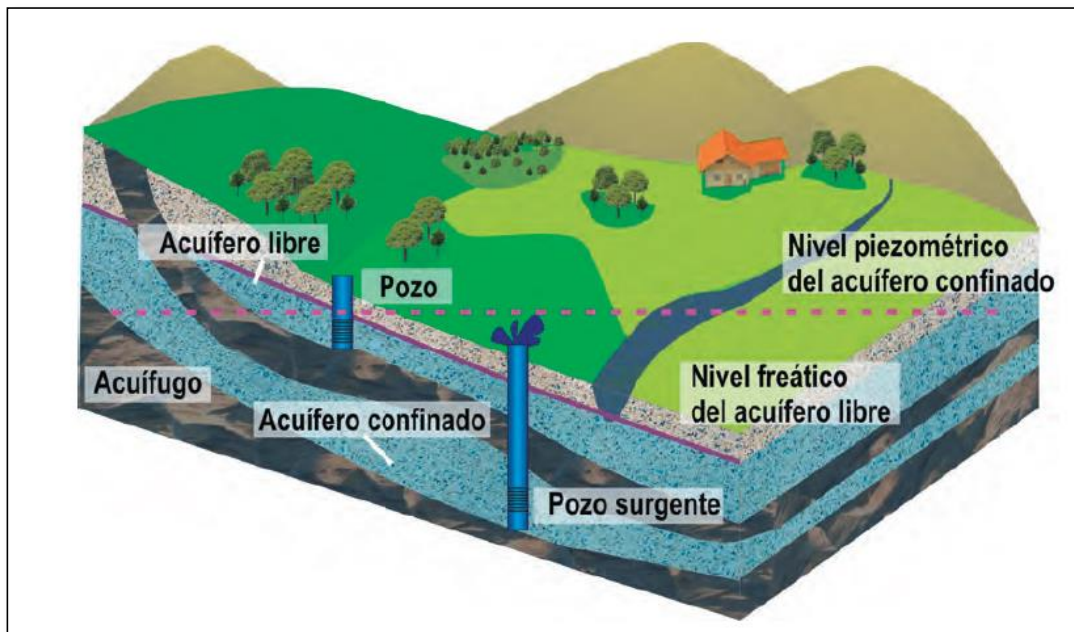


Figura 3. Pozos en acuíferos libres y confinados

#### 2.2.10 Propiedades físicas de los acuíferos

Las propiedades de los acuíferos, son imprescindibles para conocer la capacidad de almacenar y transmitir agua, y así poder establecer un modelo real de comportamiento del agua subterránea. Aquí se mencionarán la porosidad, la transmisibilidad, la permeabilidad, y el coeficiente de almacenamiento.

**1. Porosidad:** es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la roca o suelo. Se puede expresar en porcentaje, multiplicando el valor de la porosidad por 100.

$$m = \frac{V_v}{V_t}$$

**Donde:**

m = Porosidad total

V<sub>v</sub> = Volumen de vacíos

V<sub>s</sub> = Volumen de sólidos

V<sub>t</sub> = V<sub>v</sub> + V<sub>s</sub> Volumen total

**2. Porosidad efectiva:** es la razón entre el volumen de agua efectivamente liberado y el volumen total de la misma.

$$m_e = \frac{V_d}{V_t}$$

**Donde:**

m<sub>e</sub> = Porosidad efectiva

V<sub>d</sub> = Volumen de agua drenada por gravedad

V<sub>t</sub> = Volumen total

**3. Transitividad (T):** se refiere a la cantidad de agua que puede ser transmitida horizontalmente por el espesor saturado del acuífero: T= k.b. Unidades: m<sup>2</sup>/día, Cm<sup>2</sup>/seg.

**4. Coeficiente de Almacenamiento (S):** se refiere al volumen capaz de liberar un acuífero, al descender en una unidad el nivel piezométrico. Es adimensional.

Este parámetro hidrogeológico parece que no existe una clara normalización, pues en la literatura es frecuente encontrar sobre lo mismo, los nombres: porosidad

drenable, espacio poroso drenable, porosidad efectiva, producción específica y coeficiente de almacenamiento.

Estos términos especifican la cantidad de agua que pueden ser drenado en un volumen de suelo saturado por efecto de la gravedad cuando la tabla de agua es deprimida se expresa en porcentaje. Son aplicados solamente en acuíferos libres, mientras coeficiente de almacenamiento es referido a acuíferos confinados. (Villón, 2007).

### **5. Permeabilidad o Conductividad hidráulica (K):**

Se refiere a la facilidad que tiene un acuífero en dejar pasar el agua a su través. Depende de las características del medio (porosidad, tamaño, forma y arreglo de las partículas, compactación) y del fluido (viscosidad). Es por lo tanto el principal parámetro que caracteriza las propiedades hídricas de los materiales y el que registra mayor variación en función del material. Unidades: m/día. ( FCIHS – 2009)

### **6. El movimiento de las aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas se mueven por el subsuelo dependiendo de la distribución de las zonas de recarga y descarga, que condicionan los gradientes piezométrico, y de las características del terreno.

**Ley de Darcy:** El francés Henry Darcy en el siglo XIX estudió en forma experimental el flujo del agua a través de un medio poroso, y estableció la ley que se conoce con el nombre de Ley de Darcy. Dicha ley se basa en las siguientes hipótesis que condicionan la validez de su ley.

Medio continuo, es decir que los poros vacíos estén intercomunicados.

En este sentido, los medios kársticos no se pueden considerar como continuos.

Medio isotrópico



Medio homogéneo

Flujo del agua en régimen laminar

Darcy demostró que el caudal  $Q$  es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud del lecho de arena y proporcional al área de la sección y a un coeficiente que depende de las características del material.

De esta manera estableció que:

$$Q = k * A \left( \frac{h_1 - h_2}{l} \right)$$

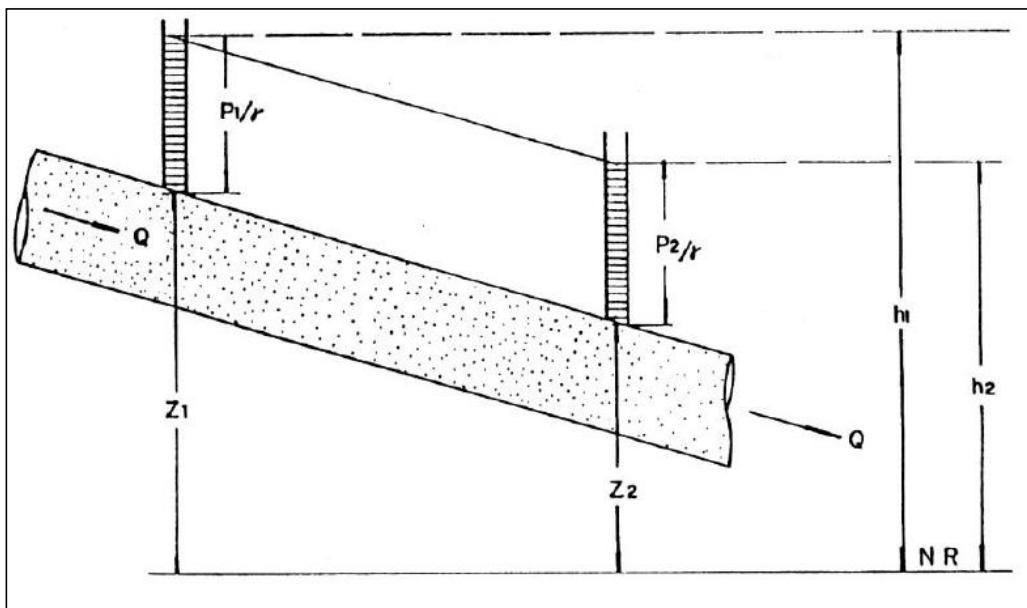
$Q$  : caudal constante en  $m^3/s$ .

$h_1$  y  $h_2$  : carga hidráulica en m de agua.

$A$  : área de la sección en  $m^2$ .

$l$  : longitud del lecho de arena en metros.

Si en lugar de considerar el tubo vertical, se le da una cierta inclinación, se tiene de la figura 4:



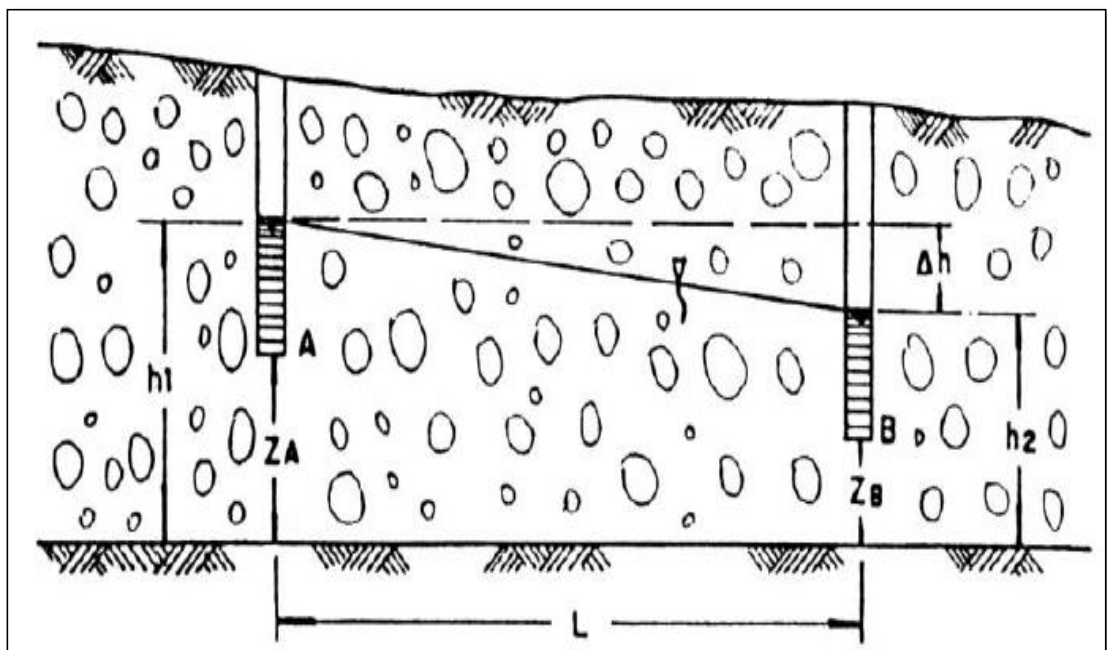
**Figura 4.** Flujo de un líquido a través de un medio poroso mediante un tubo inclinado

$$h_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\rho} \quad h_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} \quad \Delta h = h_1 - h_2$$

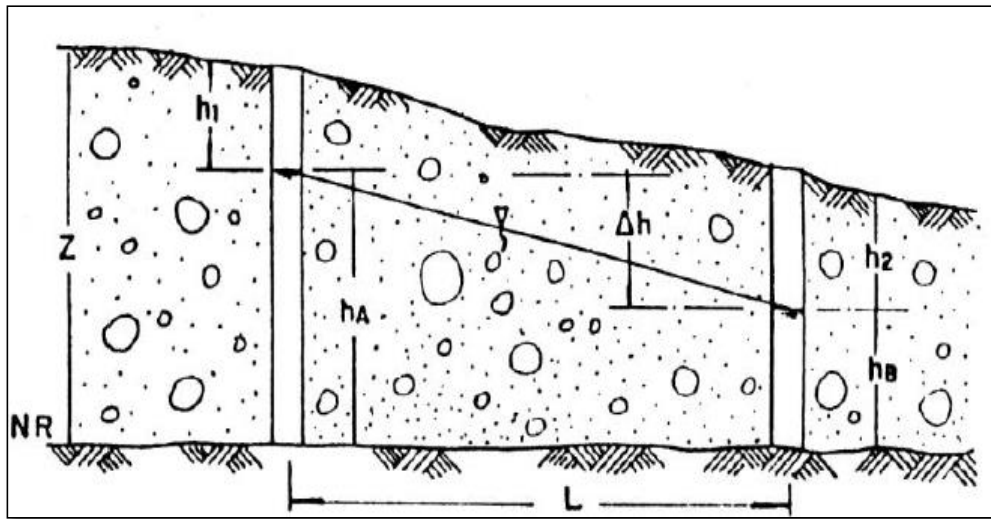
$$Q = -kA \left( \frac{\Delta h}{L} \right)$$

### 2.2.11 El Gradiente Hidraulico

Es la pendiente de la curva que representa la superficie piezométrica. Es otro parámetro que aparece en la Ley de Darcy y fue definido como la pérdida de carga por unidad de longitud, medida esta longitud en la dirección del flujo. Si se considera un acuífero y dos piezómetros. (Sánchez, 2011).



**Figura 5.** Gradiente hidráulico en un acuífero



**Figura. 6** Niveles piezómetro de un acuífero

Z : cota del suelo

h1 y h4 : profundidad del agua en el piezómetro

hA y hB : niveles piezométricos

Entonces:

$$i = -\frac{\Delta h}{l} \Delta h = h A - h b$$

Lo anterior implica que:

$$\Delta h = (Z1 - Z2) + (h2 - h1)$$

**1. Las curvas isopiezas.** su nombre lo indica, las líneas Isopiezas son líneas de igual altura piezométrica y se les denomina también líneas equipotenciales. Estas curvas son las que resultarían si se cortara la superficie piezométrica por planos horizontales igualmente espaciados.

En la práctica lo que se hace realmente es establecer mapas de isopiezas, trazando las curvas por diferentes métodos a partir de la determinación del nivel piezométrico en algunos puntos del acuífero. Estas curvas son las que definen la superficie

piezométrica. Las líneas de corriente se trazan normales a las isopiezas, condición que se cumple en un medio isotrópico. El corte de las isopiezas y las líneas de corriente constituye lo que se llama una red de flujo. (Sánchez, F. J. 2011).

## **2. Velocidad de Darcy y velocidad real**

La velocidad dada por la Ley de Darcy no es la velocidad real a la cual se desplaza el agua en un medio poroso. En efecto, dicha velocidad considera que el flujo se hace a través de toda la sección y se define como  $Q/A$ , mientras que realmente el fluido se desplaza únicamente a través de los poros, siendo por lo tanto el área menor que el área de toda la sección. Esta es la razón por la cual a la velocidad de Darcy se le denomina también velocidad aparente o velocidad de flujo para diferenciarla de la velocidad real que viene a ser la velocidad de desplazamiento de las moléculas de agua a través de los poros y que puede determinarse mediante el uso de trazadores. A esta velocidad real de flujo se le denomina también velocidad de filtración o velocidad eficaz o efectiva.

### **2.2.12 Caracterización de aguas subterráneas**

Conocer los componentes disueltos o en otras formas del agua subterránea es una de las características más importantes a determinar. La presencia y concentración de determinados compuestos hace que el agua subterránea se diferencie de otras.

Los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas subterráneas pueden ser intrínsecos o extrínsecos al acuífero. En principio, el agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas a medida.

Que se infiltra y aumenta su recorrido en los distintos acuíferos. Además de otros factores que interfieren en la composición del agua, como clima, composición del

agua de recarga, tiempo de contacto del agua con el medio físico, etc, además de la contaminación causada por el hombre (Sánchez, 2011).

### **2.2.13 Tiempo de residencia**

Es el tiempo requerido para que un determinado material complete su ciclo de ingreso, permanencia y egreso en un medio permeable. Para estimar el tiempo de residencia promedio, deben conocerse:

1. El volumen total de la roca permeable.
2. El volumen poral eficaz, es decir, el porcentaje de espacios porales interconectados que tenga la roca permeable (reservorio) que permita la circulación de los fluidos contenidos en los poros.
3. El porcentaje del espacio poral eficaz saturado con dichos fluidos.
4. El caudal promedio de los fluidos. Ello requiere conocer la permeabilidad del reservorio, el gradiente (pendiente promedio entre el lugar de ingreso de los fluidos y el lugar de salida) y la dirección del flujo del material saturante de los espacios porales. La relación entre el caudal y el volumen poral saturado equivale al tiempo de residencia (de permanencia) del fluido dentro de la roca permeable. (KELLER, 1988).

### **2.2.14 Calidad de agua**

En los estudios de desarrollo y manejo de cuencas es importante el análisis de la calidad de agua, para conocer el grado de contaminación de este recurso y tomar las medidas del caso para su uso, ya sea por parte de la población o en la agricultura, ganadería, etc.

La calidad de agua de riego está determinada por la composición y concentración de los diferentes elementos que pueda tener, ya sea en

solución o en suspensión. La calidad de agua de riego determina el tipo de cultivo a sembrar y el tipo de manejo que debe dársele al suelo.

Las características que determinan la calidad de agua de riego son:

La concentración total de sales solubles,

La concentración relativa de sodio,

La concentración de boro u otros elementos tóxicos,

La concentración total de sólidos en suspensión

La presencia de semillas de malezas, larvas o huevos de insectos,

La dureza del agua determinada por la concentración de bicarbonatos.

(Vásquez, 2000)

### **2.3 Glosario de términos**

**Acuífero:** formación geológica que almacena agua y que es capaz de trasmitirla de manera que puede ser aprovechada como recurso. El agua de superficie se infiltra a través del suelo hasta encontrarse con una capa impermeable; entonces se acumula y llena los poros y fisuras de las rocas dando lugar a una zona de saturación. El agua subterránea puede brotar de modo natural (manantiales o fuentes) o ser extraída mediante pozos u otros elementos de captación. (FCIHS-2009)

**Acuífero confinado:** un acuífero que se halla bajo una capa de baja permeabilidad (un acuitardo o acuícludo) que limita los movimientos del agua hacia dentro y hacia fuera del acuífero.

**Acuífero no confinado:** un acuífero que no está cubierto por una capa de baja permeabilidad (un acuitardo o acuicludo). (Ramsar, 2010)

**Acuitardo** rocas y sedimentos que contienen muy poca cantidad de agua y bloquean el movimiento de las aguas subterráneas, v.g.: arcilla

**Acuífero libre:** acuífero no limitado en la parte superior por un techo impermeable, de manera que existe un nivel freático a una cierta profundidad. Cuando una perforación alcanza este nivel aparece un volumen de agua libre. Estos acuíferos se pueden recargarse desde la superficie mediante una fracción de la pluviometría o excedentes de riego. (FCIHS, 2009).

**Aguas subterráneas:** agua almacenada en rocas permeables, como la caliza o sedimentos no consolidados del tipo de la arena y la grava. (Ramsar, 2010)

**Acuitardo:** formación geológica capaz de almacenar grandes volúmenes de agua, pero que la transmite con dificultad.

**Agua hidroescópica:** agua que forma una película alrededor de las partículas del suelo y que queda adherida a ellas por fuerzas de adsorción.

**Agua pelicular:** agua situada en la zona inmediatamente por encima de la superficie piezométrica, transmite la presión hidrostática, llena los poros y esta retenida por la fuerza de capilaridad.

**Agua gravífica:** Parte del agua infiltrada que se desplaza libremente por efecto de la gravedad a través de los huecos del terreno.

**Balance hídrico:** comparación entre los volúmenes de agua que entran y los que salen de un humedal, habida cuenta de los cambios en cuanto al almacenamiento de agua en el humedal.

**Barrena:** utensilio manual, por lo general en forma de tornillo, para extraer pequeños nódulos (<5 cm de diámetro y 30 cm de largo) del suelo.

**Capacidad de infiltración:** máxima cantidad de agua que pueda absorber un suelo por unidad de tiempo, para unas condiciones iniciales determinadas.

**Capacidad de retención:** capacidad que tiene un suelo para retener contaminantes por adsorción.

**Conductividad hidráulica:** propiedad tensorial del medio que refleja la capacidad del mismo a que el agua circule a través suyo. Una componente direccional de este tensor se define como caudal que circula a través de una sección unitaria de un acuífero, bajo un gradiente hidráulico unidad. Este parámetro presenta una gran variabilidad natural, de manera que en una formación aparentemente homogénea sus valores pueden cambiar de tres o cuatro órdenes de magnitud.

**Descenso:** Variación de nivel piezométrico que se produce en un punto debido al bombeo en un pozo cercano. Se define como la diferencia entre el valor de equilibrio, que se obtendría si el boso no se bombease, y el medido teniendo en cuenta la acción del bombeo.

**Flujo multifásico:** movimiento por medio poroso de más de un fluido de manera conjunta. Ejemplos importantes son el movimiento conjunto de agua y aire (zona no saturada) y el movimiento de petróleo y agua. Es gobernado por la ley de darcy generalizada escrita en términos de gradientes de presión de los fluidos.

**Fuente:** afloramiento de agua a la superficie terrestre originado en producirse la intersección de una capa acuífera con esta superficie, con lo cual se debe generalmente a las vertientes de los valles y los barrancos y en los francos de los pliegues.

**Gradiente Hidráulico:** diferencia de nivel piezométrico entre dos puntos de un acuífero relacionado con la distancia entre estos dos puntos. Es uno de los



parámetros que se incorpora la ley de darcy para calcular los caudales de agua subterránea que circula por un acuífero.

**Humedales altoandinos.-** Son aquellos humedales y complejos de humedales que forman parte de los ecosistemas de páramo, jalca y puna, así como otros ecosistemas altoandinos y afines. Los humedales típicos que existen en la puna son el salar, el bofedal y la vega.

**Infiltración:** penetración de agua en el suelo, procedente de la lluvia, cursos superficiales o recarga artificial.

**Isopieza:** curva que une puntos de igual nivel piezométrico. Según la ley de darcy esto hace que la velocidad del movimiento del agua no tenga ningún componente en la dirección de esta curva y el movimiento del agua será perpendicular a la misma. Sinónimo a las líneas equipotenciales.

**Ley de Darcy:** ecuación que relaciona el flujo de agua con la gradiente hidráulica, mediante la conductividad hidráulica.

**Línea de flujo:** líneas que marcan la trayectoria de las partículas agua. Son perpendiculares a las izopiezas si la conductividad hidráulica es isótropa. Se suele utilizar para calcular el caudal que circula entre dos izopiezas. Se conocen también como líneas de corriente.

**Nivel dinámico:** nivel piezométrico, cota de agua, que tiene un pozo durante el bombeo.

**Nivel estático:** nivel piezométrico en un piezómetro o en un pozo de reposo.

**Permeabilidad:** capacidad de un suelo o roca para que un fluido cualquiera la pueda atravesar. Se mide en (L2), aunque en muchos casos como término cualitativo.

**Piezómetro:** sondeo empleado para medir el nivel piezométrico. Suele ser de diámetro pequeño, de manera que no es posible instalar una bomba sumergida en su interior.

**Pluviometría:** cantidad de agua recogida en forma de lluvia en un punto y un tiempo prefijado (normalmente 1 año). Su mide en litros recogidos por metro cuadrado de superficie de terreno.

**Pluviómetro:** instrumento que sirve para medir la pluviometría.

**Porosidad:** en una roca o un suelo es el cociente entre el volumen ocupado por fluidos o gases y el volumen total. Su medida se suele realizar el laboratorio y en ocasiones se expresa en tanto por ciento.

**Porosidad eficaz:** fracción de la porosidad total en que los poros están interconectados. En un suelo con buena conexión entre poros la porosidad eficaz y la total son muy similares. Se calcula en laboratorio o en campo, y puede variar con las condiciones del ensayo, e incluso en el tiempo, de modo que no es un parámetro bien definido.

**Recarga:** Proceso natural o artificial por la cual se produce la entrada de agua a un acuífero.

**Recurso hídrico subterráneo:** Fracción de la reserva de un acuífero que puede ser aprovechada de manera sostenible.

**Red de flujo:** conjunto formado por las líneas equipotenciales y de flujo que se disponen formando una figura grafica que asemeja una red. Incorporan y permiten identificar la zona de recarga y descarga. También permiten hacer cálculos de caudales y de tiempo de tránsito entre dos puntos.

**Surgencia:** salida al exterior de agua subterránea de manera natural debido a que se encuentra de subyacente de rocas impermeables.

**Transmisividad:** caudal que circula en un acuífero por unidad de amplitud bajo un gradiente unidad. En un acuífero homogéneo es igual al producto de conductividad hidráulica y el espesor de zona saturada.

**Zona de descarga o infiltración:** superficie de terreno en la que se produce una salida de agua subterránea. La descarga puede ser puntual lineal o extensa.

**Zona de recarga o infiltración:** superficie de terreno en la que se produce la infiltración de agua a un acuífero. La recarga puede ser puntual, lineal o extensa.

**Zona no saturada:** medio parcialmente saturado en agua, con aire en los poros. En general hace referencia a la franja de terreno comprendida entre la superficie del terreno y en nivel freático.

**Zona saturada:** zona del suelo y las cavidades donde todos los intersticios y las cavidades se encuentran llenas de agua. Se pueden distinguir dos partes según nos encontramos por debajo de nivel freático, y entonces la presión del agua es menor que la atmosférica y el agua saturada el suelo por capilaridad. (FCIHS, 2009).

## **2.4 Marco Legal**

### **2.4.1 Constitución política del Perú**

#### **Ley del ambiente y los recursos Naturales**

**Artículo 66°.-** Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.

Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

**Artículo 67°.-** El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

**Artículo 68°.-** El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

#### **2.4.2 Ley General del Ambiente. (Ley N° 28611)**

##### **Conservación de la diversidad biológica**

**Artículo 99°.-** De los ecosistemas frágiles

**99.1** En el ejercicio de sus funciones, las autoridades públicas adoptan medidas de protección especial para los ecosistemas frágiles, tomando en cuenta sus características y recursos singulares; y su relación con condiciones climáticas especiales y con los desastres naturales.

**99.2** Los ecosistemas frágiles comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas alto andinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relictos.

**99.3** El Estado reconoce la importancia de los humedales como hábitat de especies de flora y fauna, en particular de aves migratorias, priorizando su conservación en relación con otros usos. Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento (Ley N° 29338)

##### **Consideraciones Generales**

**Artículo 5°:** El agua comprendida en la Ley

1. la de los ríos y sus afluentes, desde su origen natural
2. la que discurre por cauces artificiales
3. la acumulada en forma natural o artificial
4. la que se encuentra en las ensenadas y esteros
5. la que se encuentra en los humedales y manglares

6. la que se encuentra en los manantiales
7. la de los nevados y glaciares
8. la residual
9. la subterránea
10. la de origen minero medicinal
11. la geotermal
12. la atmosférica
13. la proveniente de la desalación

### **Protección Del Agua**

#### **Artículo 75.-** Protección del agua

La Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de Cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la Ley y demás normas aplicables. Para dicho fin, puede coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios.

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca correspondiente, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos en lo que le corresponda. Puede coordinar, para tal efecto, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y los gobiernos locales.

El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan las aguas. La Autoridad Nacional, con opinión del Ministerio del Ambiente, puede declarar zonas intangibles en las que no se otorga ningún derecho para uso, disposición o vertimiento de agua.

### III . MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Descripción de zona de estudio

##### 3.1.1 Ubicación

###### 1.- Ubicación Política

Región	:	Ayacucho
Departamento	:	Ayacucho
Provincia	:	Huamanga
Distrito	:	Vinchos
Localidad	:	Rosaspata

###### 2.- Ubicación Geográfica

Localidad	LATITUD	LONGITUD	COTA
Rosaspata	: 13°19'13.10"	74°38'03.70"	4350 msnm

La población de estudio fue el bofedal alto andino ubicado en la comunidad Rosaspata de 36.4 has, el que se encuentra dentro de una microcuenca con un

área de 85.31 has ubicado a 4,298 msnm en su punto más bajo en el bofedal y la parte más alta en el divortium aquarium de 4,520 msnm. El bofedal de Rosaspata se encuentra en la ecorregión terrestre de puna húmeda de los andes centrales (Worldwildlife.org, 2014), en la zona de vida de páramo muy húmedo – Subalpino Subtropical (pmh-SaS). El clima es de Tundra seca de alta montaña. El bofedal de Rosaspata pertenece a la Cuenca del Mantaro de la región hidrográfica del Amazonas.

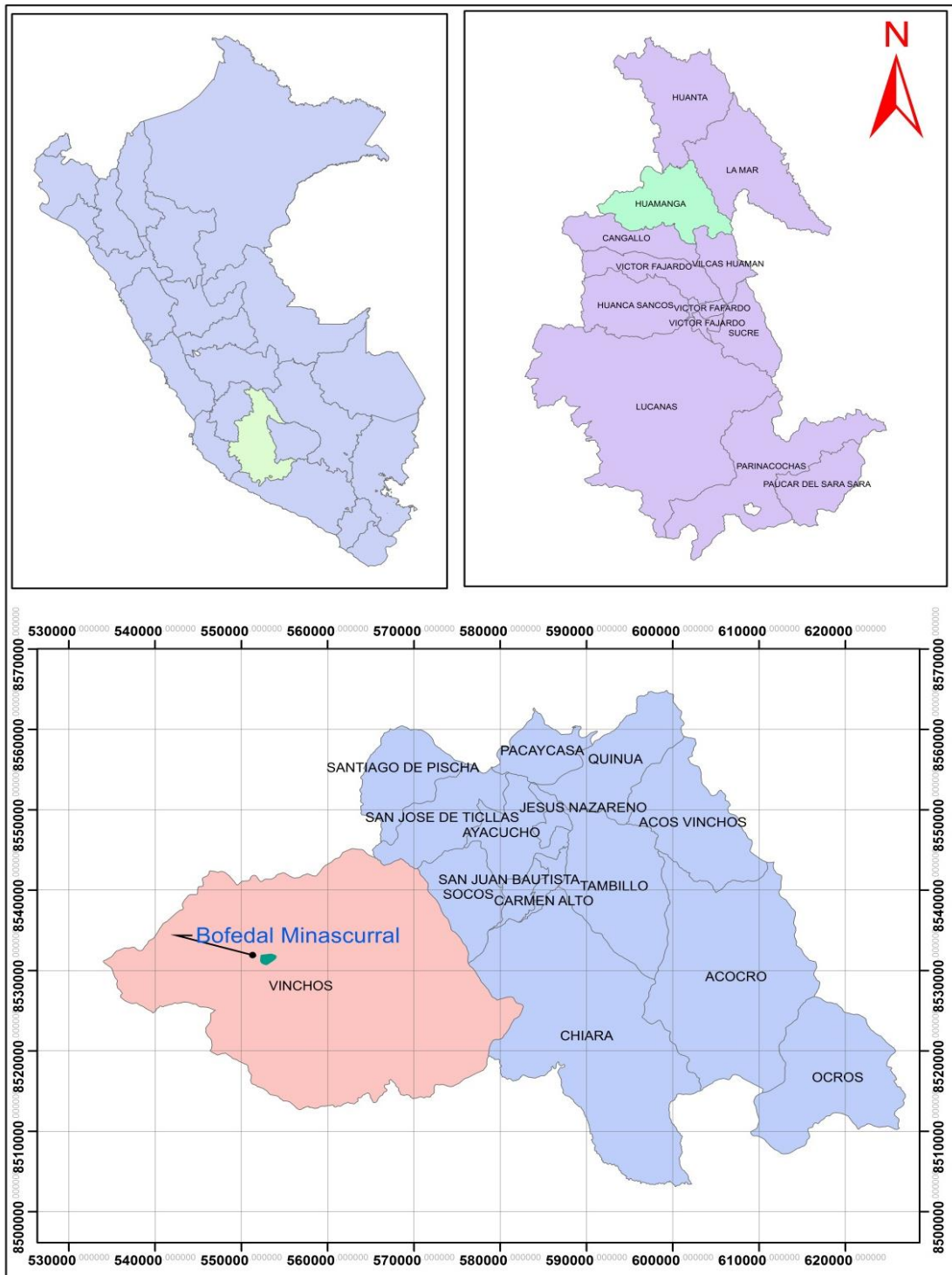


Figura 7. Mapa de ubicación del bofedal Rosaspata. Vinchos



### 3.1.2 Vías de Acceso

Desde la Ciudad de Ayacucho:

1).- El acceso a la zona de proyecto vía terrestre a partir de la ciudad de Ayacucho por la red vía Los Libertadores Wari, mediante la carretera Ayacucho –Lima hasta el kilómetro 305 Occollo 88 Km Asfaltado y a Rosaspata 27 km trocha carrozable

### 3.2 Climatología

Según el registro meteorológico reportado por la estación meteorológica Apacheta ubicado a 4.5 km en línea recta de la unidad de análisis se detallan los siguientes parámetros.

#### 3.2.1 Precipitación

Según el reporte de datos de precipitación de la estación meteorológica de Apacheta.

La precipitación durante el año en promedio se presenta de la siguiente manera, noviembre a marzo con 50.2 mm, 138.1 mm, 163.6 mm, 123.6 mm, 127.9 mm en promedio respectivamente, siendo el mes de enero más lluvioso con 163.6 mm y los meses junio y julio con 5.7 mm, 6.5 mm respectivamente en promedio los más secanos.

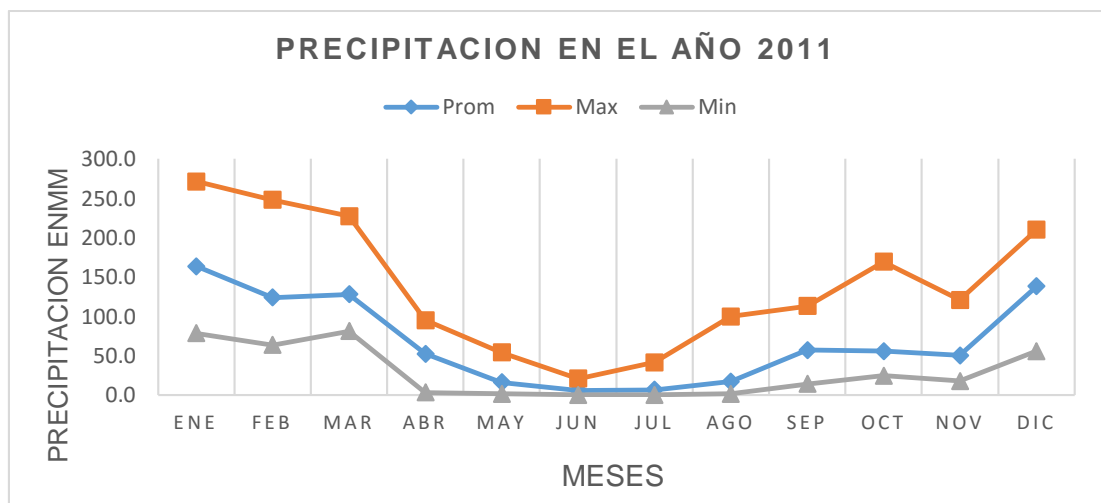


Figura 8. Precipitación anual

(Fuente: Red Hidrometeorológica - Gobierno Regional de Ayacucho, 2012.)

### 3.2.2 Temperatura

De acuerdo de la estación meteorología Apacheta la temperatura promedio mensual máxima absoluta es de 12.6 °C que corresponde al mes de octubre y la mínima promedio mensual absoluta es de 5.7 °C correspondiente al mes de junio y enero de 201.

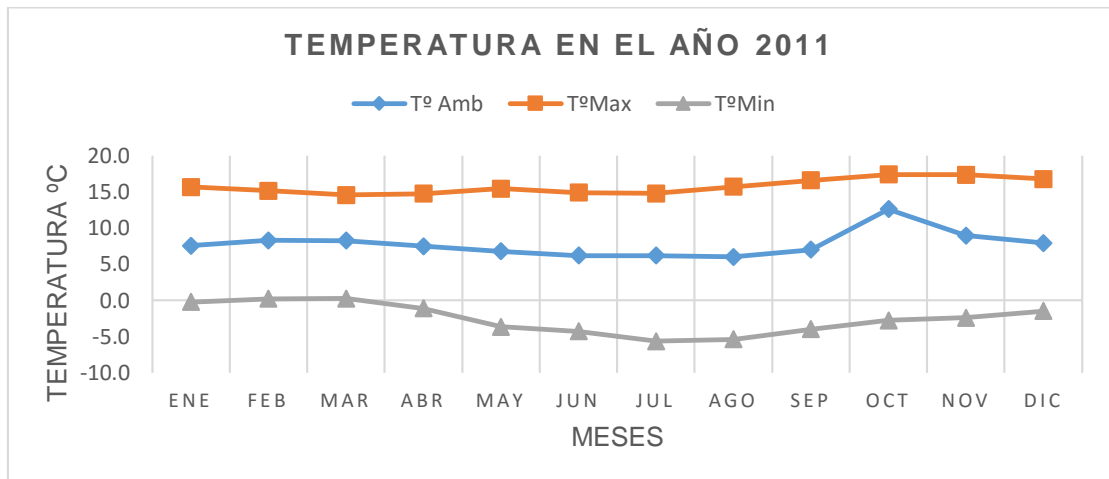


Figura 9. Temperatura anual

(Fuente: Red Hidrometeorológica - Gobierno Regional de Ayacucho, 2012).

### 3.3 Geología y geomorfología

#### 3.3.1 Volcánico Atunsulla

Estas tobas lapillíticas (iginimbritas) en el cuadrángulo de Ayacucho proviene de la caldera del centro volcánico denominado “Nevado Portuguesa” en el cuadrángulo de Huachocolpa, denominados como “Tobas Atunnsulla” teniendo como localidad típica el área de Apacheta.

Distribución y rumbo de estas tobas nos indica que su origen está en esta caldera las tobas faltan por erosión glaciar en las inmediades del centro. Los flujos piroclásticos han rellenado una topografía muy moderna siguiendo el surco de paleo

– río Cachi en el corte hecho a lo largo de río Apacheta y camino a Paccha. Morfológicamente presentan un relieve ondulada con sistema de drenaje detrítico característico.

En el área de estudio se presentan por lo menos 4 miembros de flujos piroclásticos sobreyaciendo uno a otro concordantemente y con espesores cuyos valores van decreciendo de abajo hacia arriba, desde 60 hasta 20 m. la base está constituida por una brecha de erupción de varias decenas de metros de espesor, la misma que aflora como facie proximal en el valle de río Apacheta cerca de Niñobamba, encima de lavas más antiguas siendo seguida hacia arriba por varias capas de cenizas y tobas bien estratificadas. (INGEMMET, 1995).

### **3.4 Uso actual del bofedal**

El bofedal denominado Minascurreal o Choccepampahuayra, por los lugareños, es actualmente usado como zona para pastoreo especialmente en la época de sequía ya que el área siempre está verde y con agua. El bofedal produce forraje y agua que es el motivo de la producción de ganado especialmente camélidos e introducido, esta ganadería genera una actividad económica única posible en estos medios ambientes, importante a través de la producción de carne, lana, cueros, estiércol, reproductores, de todas las comunidades aledañas.

### **3.5 Materiales y equipos**

#### **3.5.1 Materiales**

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Pintura esmalte
- ✓ Estacas de madera
- ✓ Computadora Intel inside corel i7
- ✓ Impresora.
- ✓ Papeles.

### **3.5.2 Equipos y herramientas**

- ✓ 01 Estación total sokkia modelo 630r (con todos sus accesorios)
- ✓ 01 GPS Map 76CSx (global position system )
- ✓ 01 Altimetro marca Kope.
- ✓ 02 Winchas de 50 mts. y flexómetro de 5 mts.
- ✓ 31. Piezómetros (PVC)
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Barreno manual
- ✓ Camioneta
- ✓ Equipo y Herramientas menores, llaves, alicates bailers wattera, válvulas de pie, guantes, cooler, envases de muestreo entre otros.

### **3.6 Metodología**

#### **3.6.1 Delimitación de la zona de estudio/bofedal**

El trabajo de investigación se realizó en el bofedal altondino Minascurreal, en la comunidad de Rosaspata, una vez identificado el bofedal por sus características ideales para realizar el estudio hidrogeológico, formación de las fuentes que abastecen al bofedal y permitir generar un modelo hidrogeológico del bofedal. La delimitación se realizó sobre la base de una imagen satelital del Google Earth con QGIS y corroborada con la visita a campo.

#### **3.6.2 Levantamiento topográfico**

Identificado el bofedal se realizó el levantamiento topográfico mediante el método por radiación haciendo uso de una estación total Sokkia modelo k630r, geo referenciando con un G.P.S. navegador Garmin 76cx los puntos de control horizontal y vertical.

La generación de las curvas de nivel se realizó con la ayuda del programa Surfer y Civil 3D con equidistancia de curvas maestras de 5m y las curvas menores a 1m., adicional a ello se determinó el área, perímetro y pendientes de la microcuenca

### **3.6.3 Instalación de Piezómetro – Pozos de Observación**

La instalación de los piezómetros (pozos de observación) se realizó en toda el área del bofedal con una distribución al azar cuidando su representatividad en distancia y generación de información para la zona de estudio, se instalaron 31 piezómetros. Los piezómetros son instrumentación hidrogeológica de tubería PVC de 2" recubierto con geotextil, estos piezómetros fueron elaboradas manualmente (anexo N° 04), la medición del nivel piezométrico se realizó en los pozos de observación con la ayuda de una sonda nivel de agua y una cinta métrica.

### **3.6.4 Parámetros Hidrogeológicos del bofedal**

Los parámetros hidrogeológicos fueron evaluados en campo y laboratorio

#### **a) Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica fue determinada in situ siguiendo el método de barreno propuesto por Auger Hule, introducido por Diserens (1934) y mejorado por Hooghoudt (1936) y Ernst (1950). Se considera que el suelo es homogéneo, sin estratificar y de conductividad hidráulica uniforme. Para determinar la conductividad hidráulica se midió la profundidad del nivel freático para posteriormente extraer parte del agua del pozo con una botella acoplado a un bastón de acero, luego de dejar por un tiempo conocido se vuelve a medir la tasa de elevación del nivel del agua dentro de la perforación (pozo de observación). La conductividad hidráulica se calculó con la siguiente fórmula.

El esquema y geometría se presentan en el anexo N° 04.1

$$\frac{dy}{dt} = -k \frac{2\pi ad y}{\pi a^2 S}$$

$$k = \frac{2.3 a S}{(2d + a)\Delta t} \log_{10} \frac{y_0}{y_1}$$

a = radio de la perforación (m)

d = distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)

k = conductividad hidráulica

S = constante que depende de a y d (m).

$$S = \frac{a d}{0.19}$$

#### **b) Transmisibilidad**

La transmisibilidad o transmisibilidad es el producto de la conductividad hidráulica por el espesor del acuífero considerando el flujo básicamente horizontal se obtiene con la siguiente formula.

$$T = k \times D$$

k = conductividad hidráulica

D = altura de espesor saturado

#### **c) Porosidad (n)**

La porosidad fue determinada en el laboratorio donde se determinaron el peso específico real y el peso específico aparente. La muestra inalterada se tomó con un cilindro de volumen conocido siguiendo los criterios para toma de muestras, las muestras fueron tomados en tres zonas del bofedal, la zona alta, media y baja del bofedal.

La fórmula utilizada para el cálculo de la porosidad es

$$\%Pr = \frac{P.real - P.ap}{P.real} * 100$$

%pr : Porosidad en %

P.real : peso específico real en g/ cm3

P.ap : peso específico aparente en g/cm3

#### d) Porosidad drenable (S)

La porosidad drenable o porosidad efectiva fue determinada en el laboratorio, con las muestras inalteradas tomadas con el cilindro se calculó volumen de agua drenada y volumen del suelo.

Fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\%Pr = \frac{\text{Volumen de agua drenada}}{\text{Volumen del suelo}} * 100$$

#### e) Retención específica (Sr)

La retención específica fue calculada con la siguiente formula.

$$S + Sr = n$$

$$Sr = n - S$$

S : porosidad efectiva (%)

Sr : retención específica (%)

N : porosidad total (%)

Las pruebas de porosidad y porosidad drenable fueron determinadas por la empresa MULTISERVICIOS AGROLAB, empresa dedicada al estudio de suelos,

plantas, agua y fertilizantes. Las pruebas fueron realizadas con la metodología propuesta por la NTP, los resultados se muestran en el anexo N° 02.

### **3.6.5 Cálculo de Volumen útil de almacenamiento de agua**

El cálculo de volumen de almacenamiento se realizó con los datos de las observaciones de los piezómetros de los niveles máximos y mínimos en relación a la superficie del terreno natural, a partir del cual se determinó el volumen del suelo saturado entre las superficies mínimas y máximas. El volumen fue calculado Utilizando el programa de cómputo de Surfer V10 y Civil 3d.

Para el cálculo del volumen de agua almacenado se utilizó la siguiente relación:

$$Porosidad (n) = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen Total}}$$

Para suelos totalmente saturados el volumen de vacíos es igual al volumen de agua existente, en un suelo saturado no existe lugar para el aire, entonces

$$Porosidad (n) = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen Total}}$$

Por lo tanto, el volumen de agua es:

$$\text{Volumen de Agua} = Porosidad (n) * \text{Volumen Total}$$



### 3.6.6 Estimación del caudal, velocidad y tiempo de residencia

Con el registro de nivel piezométrico y las características hidrogeológicas se hizo la estimación del caudal, velocidad y tiempo de residencia del agua en el bofedal para ello se aplicó el flujo de Darcy y se usó el software Surver V10 para determinar las líneas equipotenciales y el flujo.

Descarga específica o flujo de Darcy mediante la ecuación

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Dónde:

q = Descargas específica

K = Conductividad Hidráulica

Dh /DI =Gradiente hidráulico

$$Q = A \times V = A \times \frac{q}{n}$$

$$T = \frac{Vol}{Q}$$

Q = Caudal

T = Tiempo de residencia

A = área de la sección

V = velocidad

Vol = Volumen de almacenamiento

Por lo tanto, el caudal es

$$Q = q \times A$$

Para determinar el área de la sección, teniendo las líneas equipotenciales y el flujo de aguas se realizó un perfil longitudinal de la superficie del terreno natural, superficie piezométrica del registro máximo y mínimo. Para las secciones transversales se realizó cortes cada 100 metros a lo largo perfil longitudinal. El cálculo de área se calculó multiplicando el ancho por la altura entre las superficies piezométricas mínimas máximas.

El cálculo del caudal se determinó multiplicando el área de la sección con el caudal unitario y para la determinación del tiempo de residencia se utilizó la relación entre el volumen y el caudal.

### **3.6.7 Determinación de calidad de agua del bofedal**

La determinación de la calidad del agua del bofedal se realizó en el laboratorio de Multiservicios Agrolab, para cuyo efecto se tomó la muestra del agua teniendo en cuenta el perfil longitudinal del bofedal, la zona alta o superior del bofedal (piezómetro PZ-04), la zona media del bofedal (piezómetro PZ-07) y la zona baja o inferior (piezómetro PZ-15) a la salida o descarga del agua del bofedal.

## IV . RESULTADOS

### 4.1 Delimitación de Zona de estudio, microcuenca y bofedal

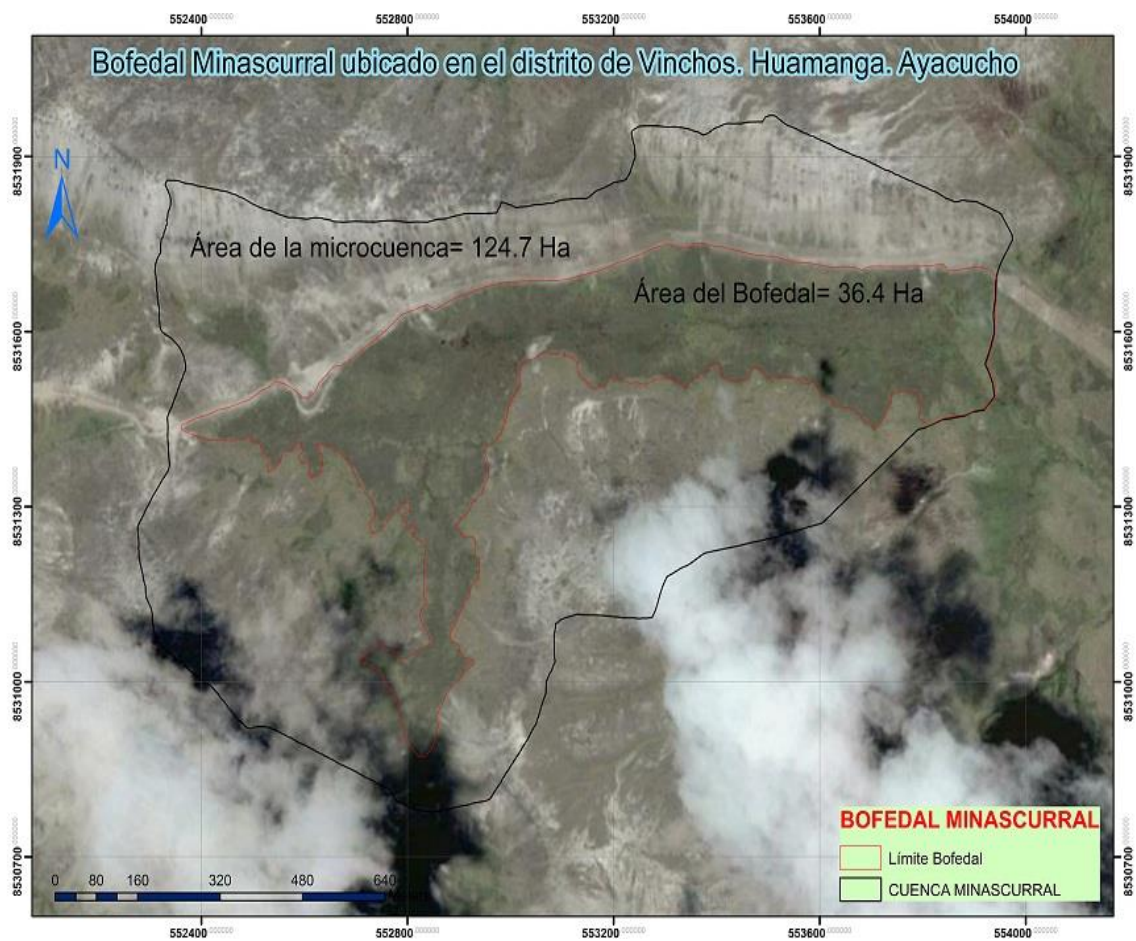


Figura 10. Delimitación del bofedal y de la microcuenca de estudio

## 4.2 Levantamiento Topográfico del bofedal

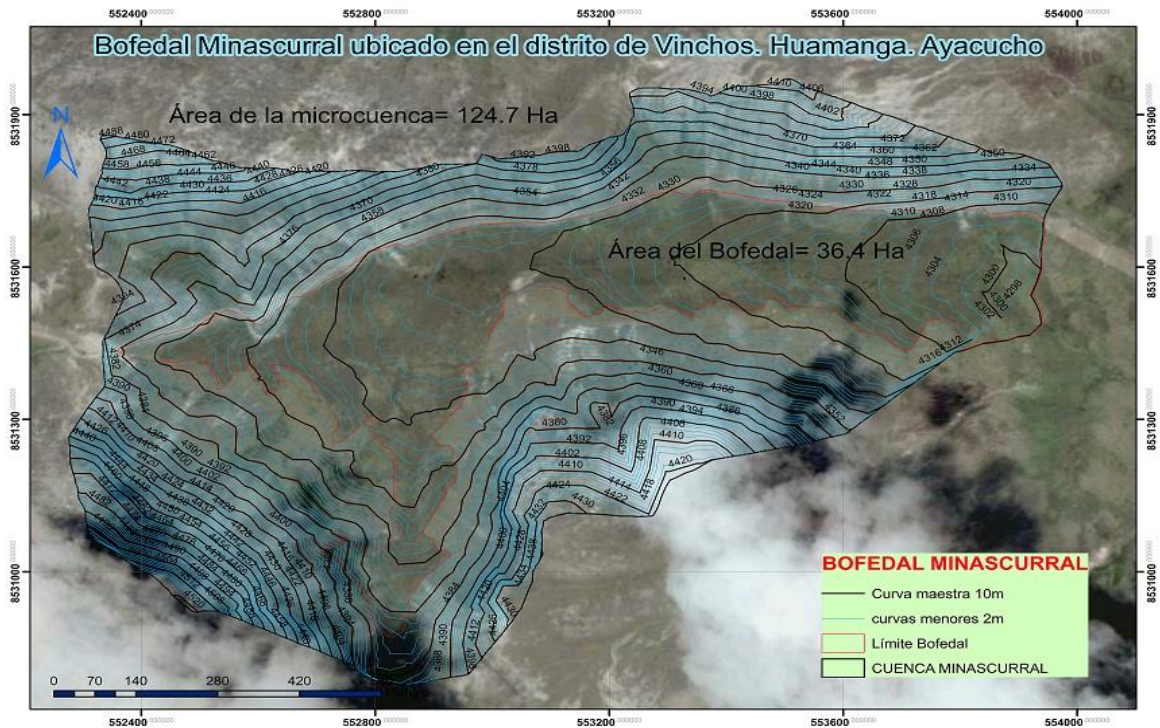


Figura 11. Plano Topográfico del bofedal y área tributaria

## 4.3 Distribución y ubicación de los piezómetros instalados en el bofedal

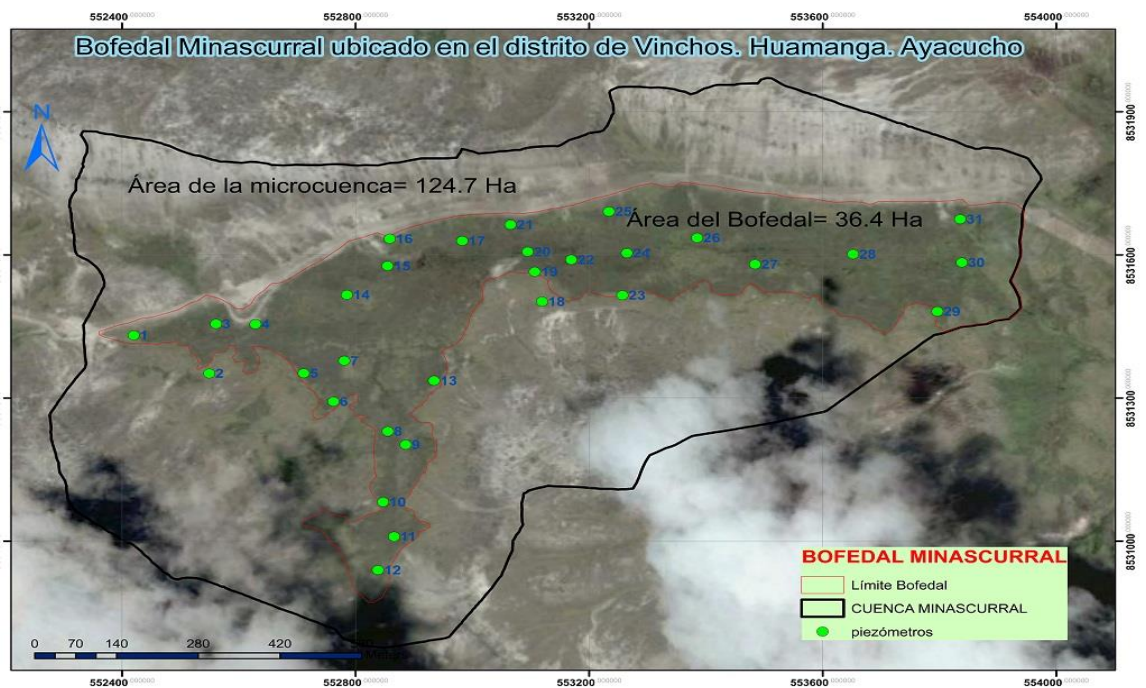


Figura 12. Distribución y ubicación de los piezómetros en el bofedal

#### 4.4 Parámetros hidrogeológicos determinados para el bofedal Rosaspata

##### 4.4.1 Nivel piezométrico máximo y mínimo medidos en el bofedal Rosaspata.

Piezómetro	Coordenadas UTM		Cota msnm	Octubre del año 2015		Febrero del año 2015	
	N	E		Profundidad de napa freática (m)	Nivel Piezométrico (m)	Profundidad de napa freática (m)	Nivel Piezómetro (m)
Pz-01	552419.91	8531431.21	4360.05	1.87	4358.18	0.18	4359.87
Pz-02	552549.30	8531351.42	4357.67	2.02	4355.65	1.42	4356.25
Pz-03	552561.05	8531455.37	4353.25	0.31	4352.94	0.00	4353.25
Pz-04	552628.41	8531454.78	4344.77	0.78	4343.99	0.00	4344.77
Pz-05	552711.22	8531351.72	4344.73	0.59	4344.14	0.00	4344.73
Pz-06	552762.17	8531292.36	4343.84	1.07	4342.77	0.04	4343.80
Pz-07	552780.65	8531377.79	4339.24	1.58	4337.66	0.26	4338.98
Pz-08	552855.27	8531230.05	4343.24	0.74	4342.50	0.07	4343.17
Pz-09	552885.88	8531202.03	4348.41	0.84	4347.57	0.15	4348.26
Pz-10	552847.10	8531081.89	4353.11	0.58	4352.53	0.02	4353.09
Pz-11	552865.95	8531009.39	4360.69	0.31	4360.38	0.05	4360.64
Pz-12	552838.31	8530939.20	4364.83	1.02	4363.81	0.13	4364.70
Pz-13	552934.45	8531336.09	4339.89	0.74	4339.15	0.00	4339.89
Pz-14	552785.17	8531516.10	4336.54	1.08	4335.46	0.00	4336.54
Pz-15	552854.83	8531576.85	4332.36	0.54	4331.82	0.00	4332.36
Pz-16	552858.57	8531633.66	4333.35	0.12	4333.23	0.00	4333.35
Pz-17	552982.82	8531629.26	4331.80	0.19	4331.61	0.00	4331.80
Pz-18	553119.33	8531502.04	4333.80	2.61	4331.19	1.13	4332.67
Pz-19	553106.94	8531564.51	4331.10	0.69	4330.41	0.00	4331.10
Pz-20	553094.81	8531606.62	4329.39	0.63	4328.76	0.00	4329.39
Pz-21	553065.33	8531663.28	4332.79	0.54	4332.25	0.00	4332.79
Pz-22	553169.43	8531589.79	4326.93	0.14	4326.79	0.00	4326.93
Pz-23	553257.18	8531515.32	4325.37	0.69	4324.68	0.11	4325.26
Pz-24	553264.80	8531603.76	4322.97	0.42	4322.55	0.08	4322.89
Pz-25	553233.90	8531690.72	4325.76	0.40	4325.36	0.00	4325.76
Pz-26	553384.98	8531635.49	4318.45	0.68	4317.77	0.02	4318.43
Pz-27	553484.29	8531580.30	4315.10	0.16	4314.94	0.00	4315.10
Pz-28	553651.93	8531601.36	4307.73	0.29	4307.44	0.00	4307.73
Pz-29	553796.47	8531481.34	4304.12	0.36	4303.76	0.00	4304.12
Pz-30	553838.30	8531583.94	4301.52	0.63	4300.89	0.00	4301.52
Pz-31	553835.51	8531674.81	4303.85	0.27	4303.58	0.00	4303.85

**Tabla 1.** Profundidad de la napa freática medidos en las épocas seca y húmeda en el bofedal Rosaspata

#### 4.4.2. Conductibilidad hidráulica

**Tabla 2.** Conductividad hidráulica determinados in situ en el bofedal Rosaspata

Descripción	Valor		Coordenadas		Cota
	m/seg	m/día	Este	Norte	
Prueba N°01	1.72563E-07	0.0149	552549.30	8531351.42	4357.673
Prueba N°02	1.89933E-07	0.0164	552628.41	8531454.78	4344.765
Prueba N°03	1.42359E-07	0.0123	552785.17	8531516.10	4336.537
Prueba N°04	2.56133E-07	0.0221	552854.83	8531576.85	4332.356
Prueba N°05	1.65585E-07	0.0143	552982.82	8531629.26	4331.800
Promedio	1.85315E-07	0.0160			

El procedimiento de los cálculos se muestra en anexo N° 2.1

#### 4.4.3. Porosidad

**Tabla 3.** Porosidad de las muestras de suelo del bofedal Rosaspata

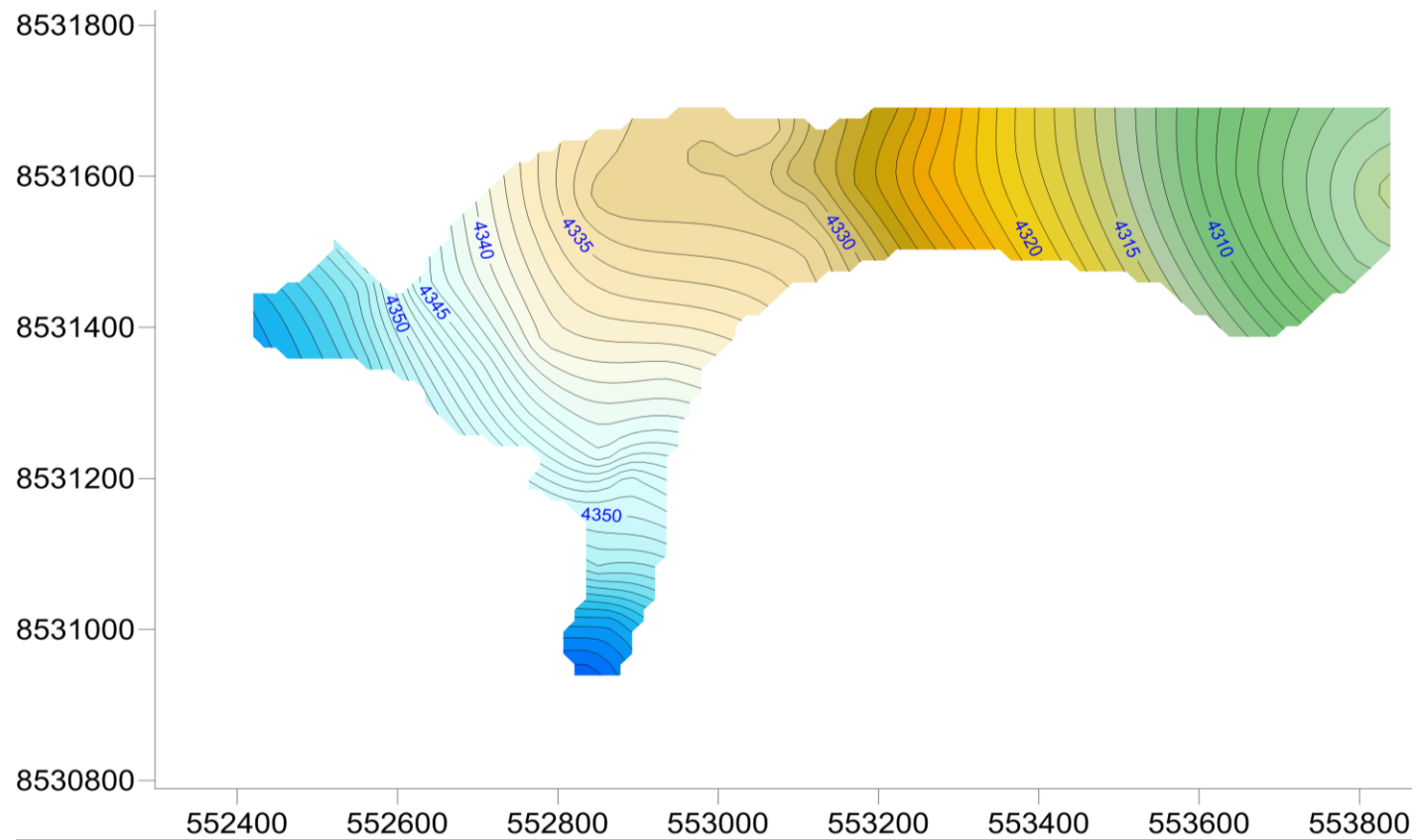
Muestras	Muestra n° 01	Muestra n° 02	Muestra n° 03	Unidad de Medida
Piezómetros	N° 04	N° 07	N° 15	
Densidad aparente	0.45	0.69	0.38	g./cc
Densidad real	1.67	1.72	1.56	g./cc
Porosidad	69.46	59.88	75.6	%
Porosidad (n) promedio	68.31			

#### 4.4.4. Porosidad efectiva (me)

Tabla 4. Porosidad efectiva del suelo del bofedal de Rosaspata

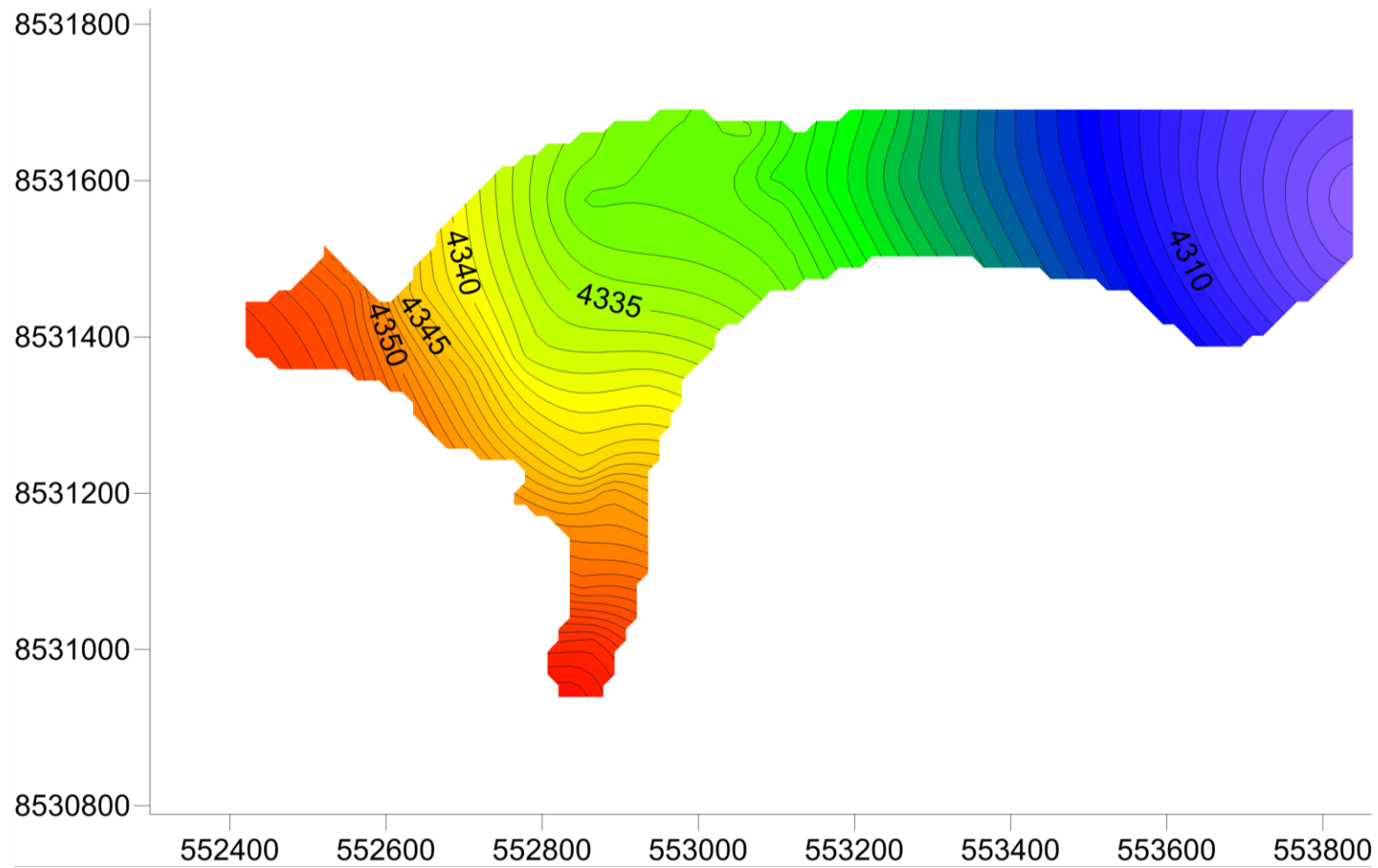
Nº Laboratorio	AS 10625-1	Unidad de Medida
Volumen del suelo	304.80	cc
Volumen total del agua	250.00	cc
Volumen del agua drenada	126.00	cc
Volumen de agua Retenida	124.00	cc
Porosidad Efectiva	41.34	%

#### 4.5 Dirección de flujo y líneas equipotenciales

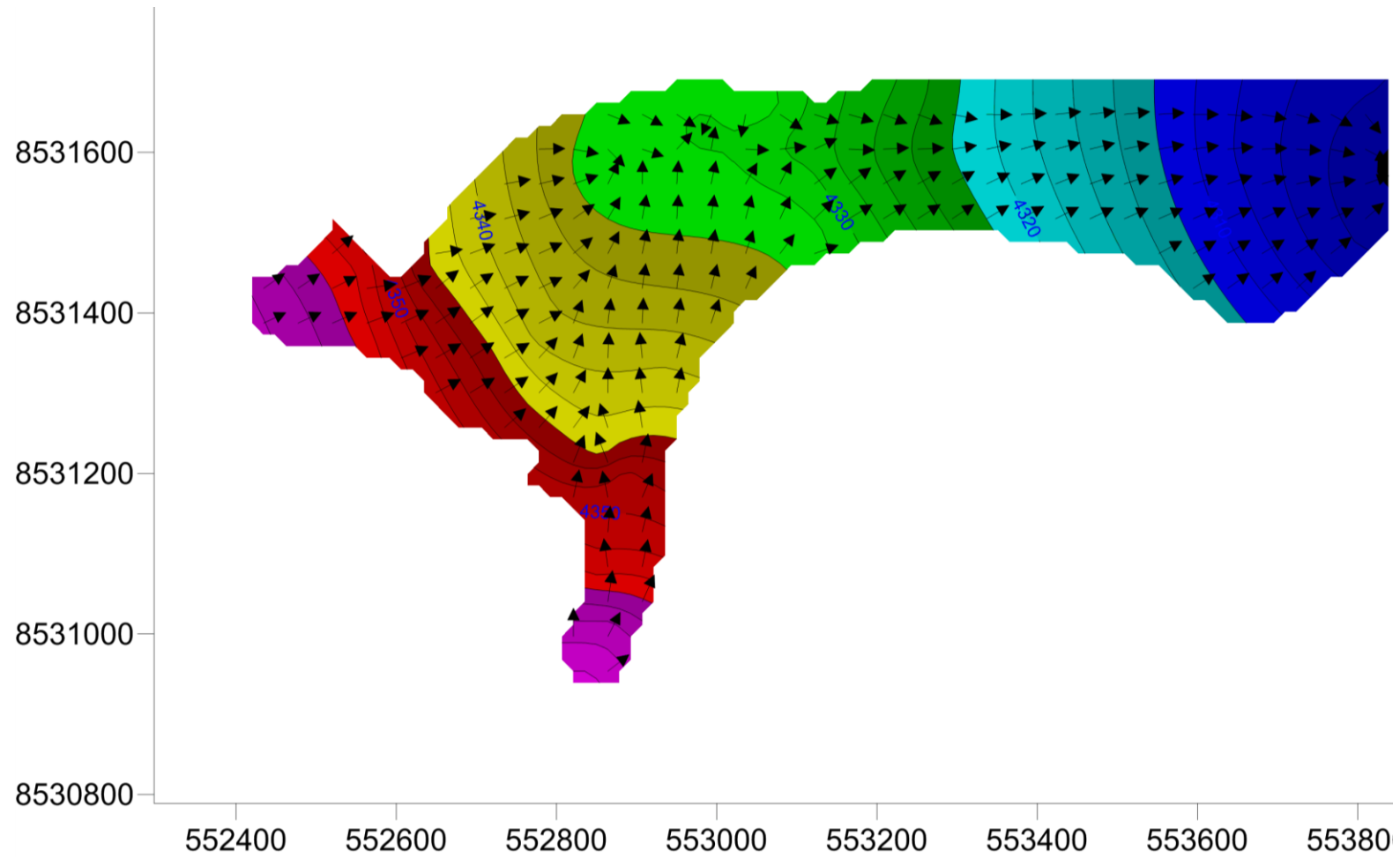


**Figura 13.** mapa de Hidroisohipsas en la época de lluvia del bofedal Rosaspata

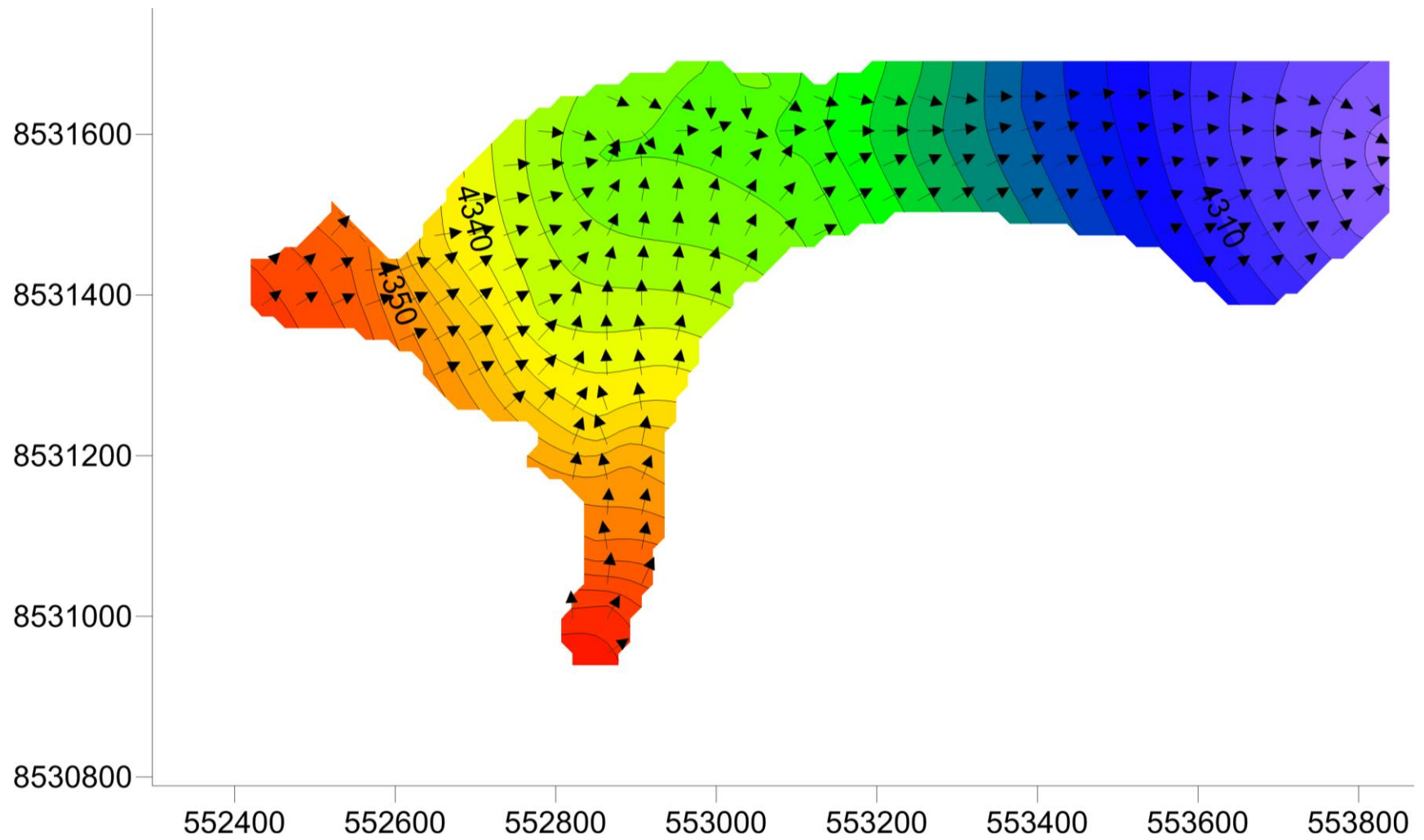




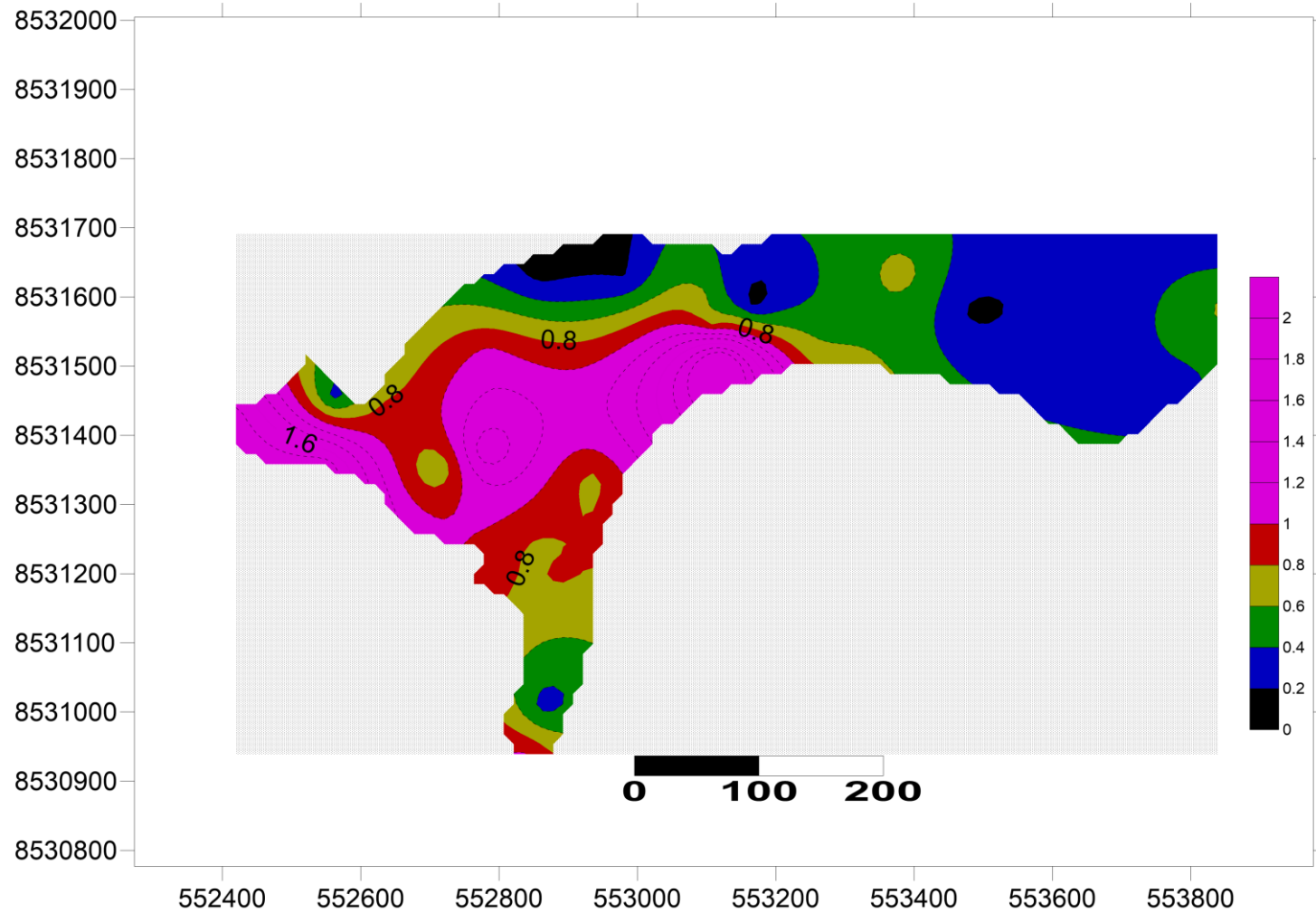
**Figura 14.** Mapa de Hidroisohipsas en la época seca del bofedal Rosaspata



**Figura 15.** líneas de flujo y Hidroisohipsas para la época de llluvias del bofedal Rosaspata



**Figura 16.** Líneas de flujo y Mapa de Hidroisohipsas para la época seca del bofedal Rosaspata



**Figura 17.** Mapa de isopropfundidades del bofedal Rosaspata

#### 4.6 Superficie en 3D Para determinar Volumen

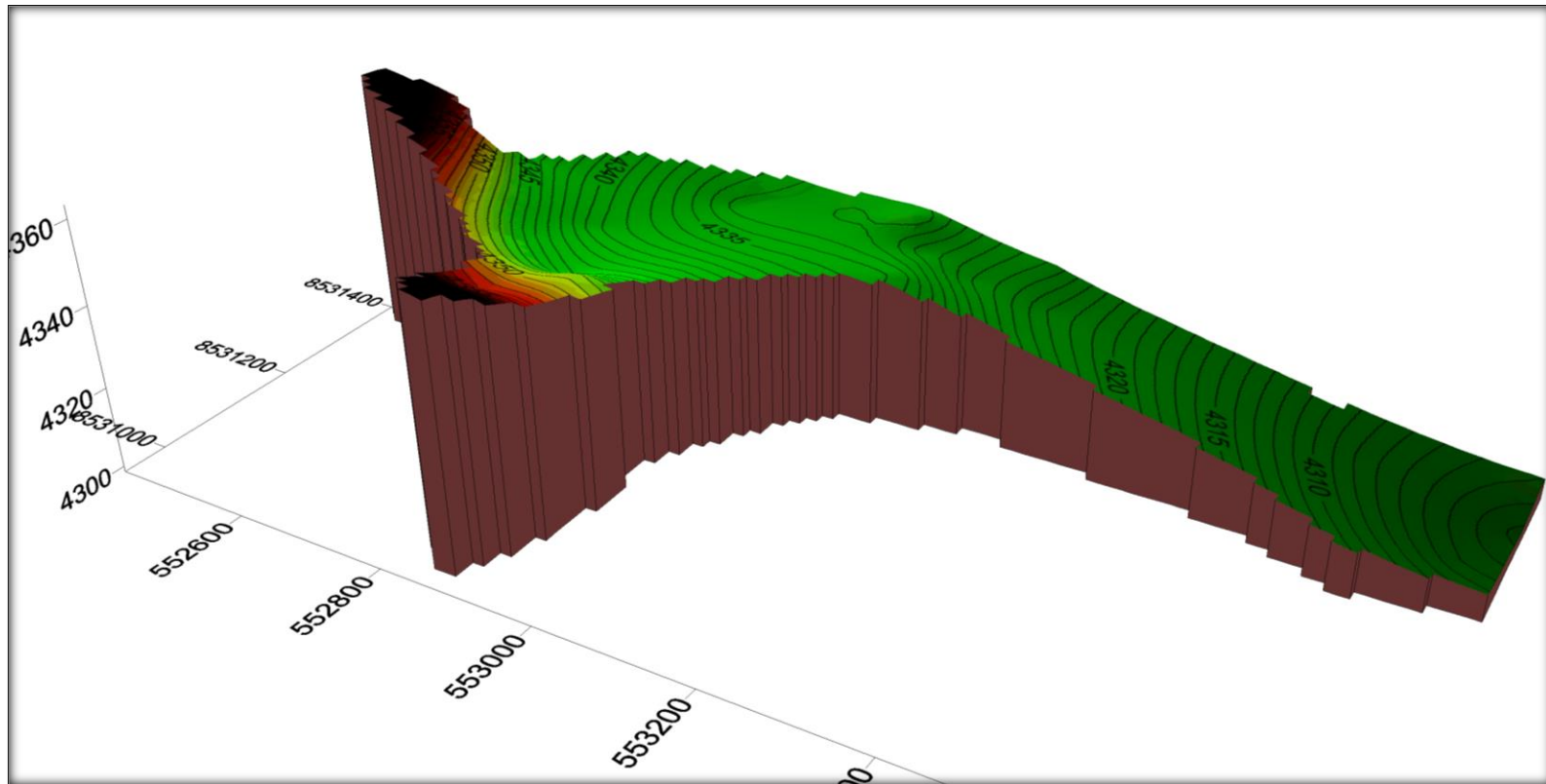


Figura 18. Superficie del terreno natural del bofedal

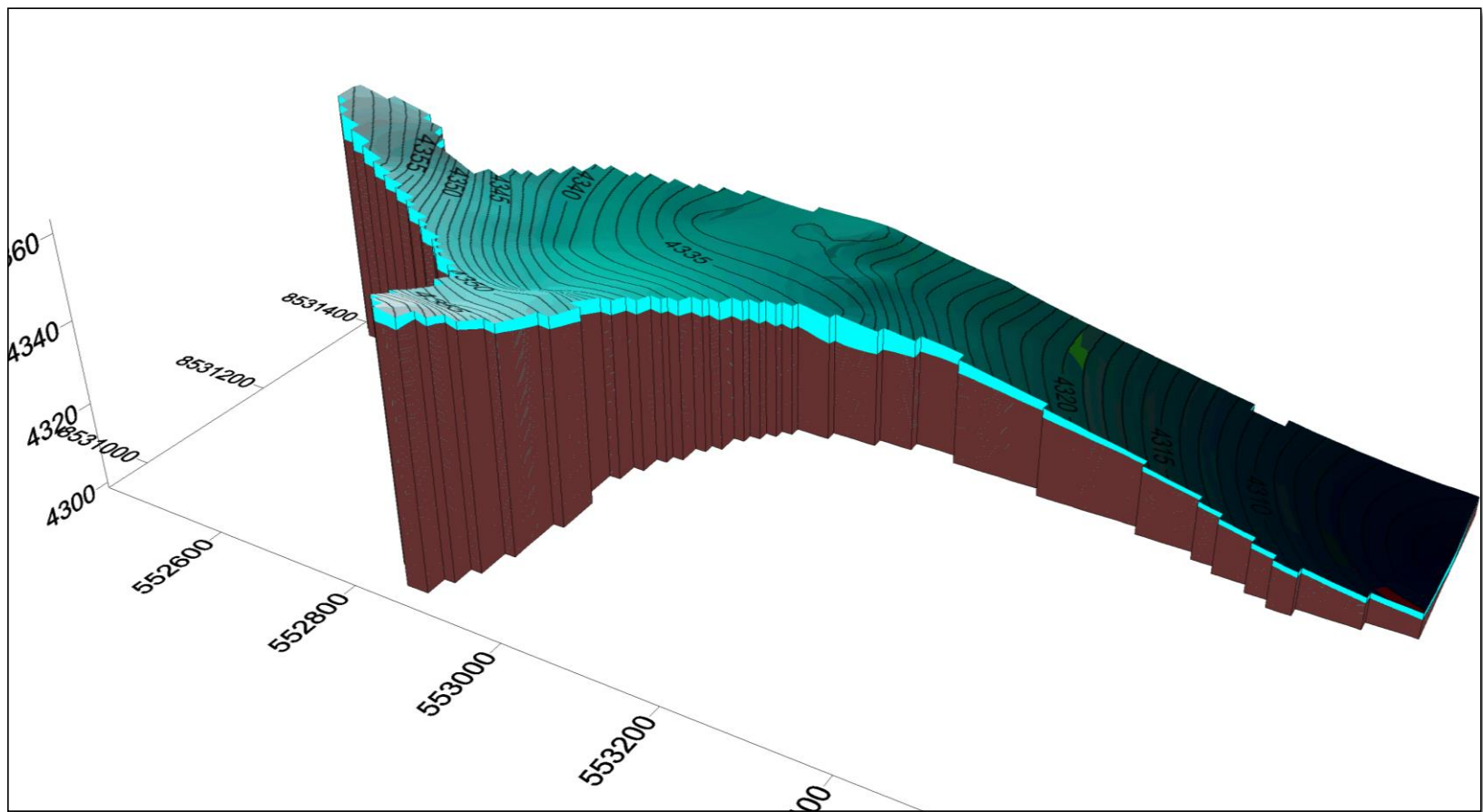


Figura 19. Superficie piezométrica mínimo y máximo del bofedal Rosaspata

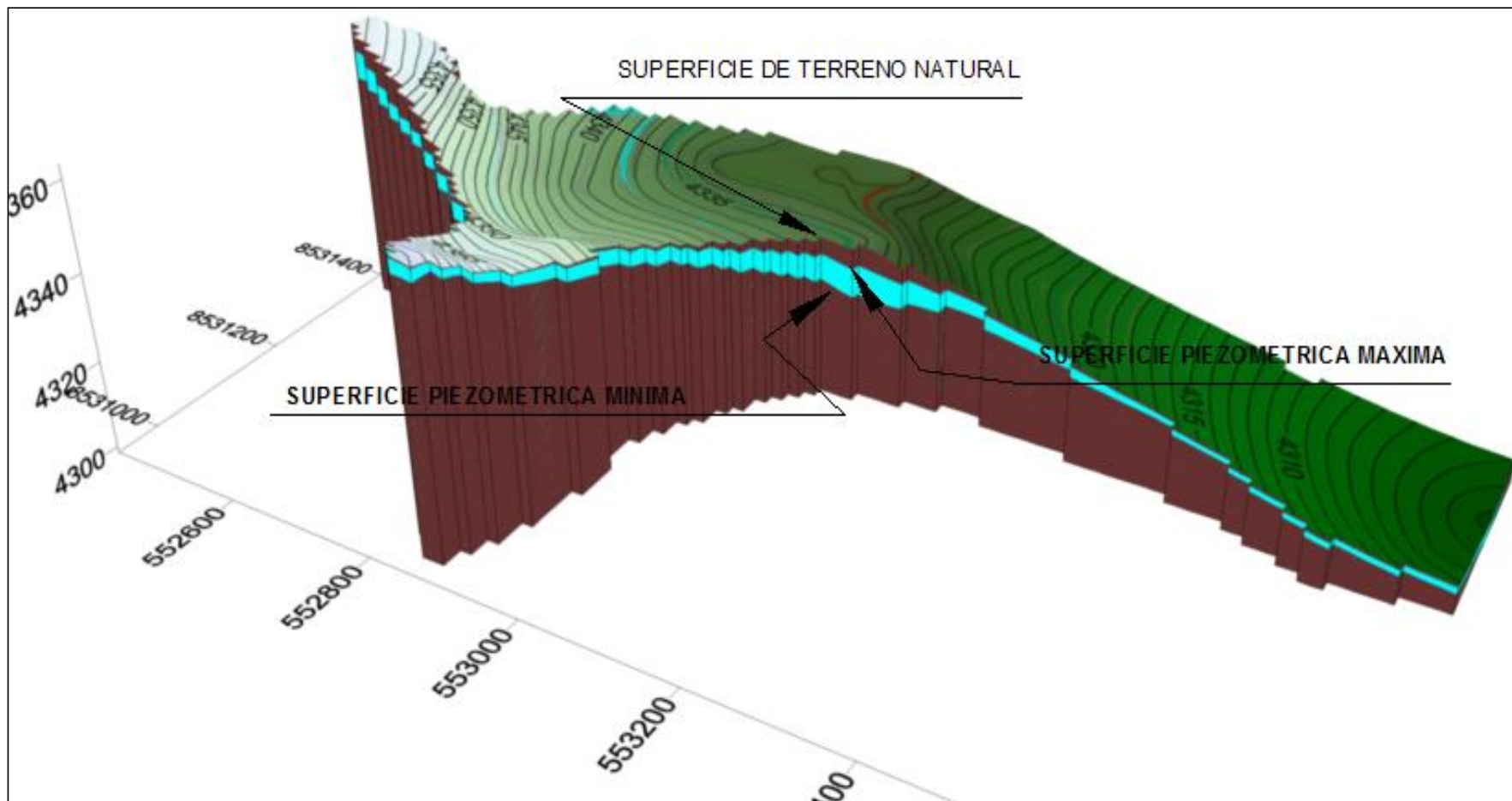
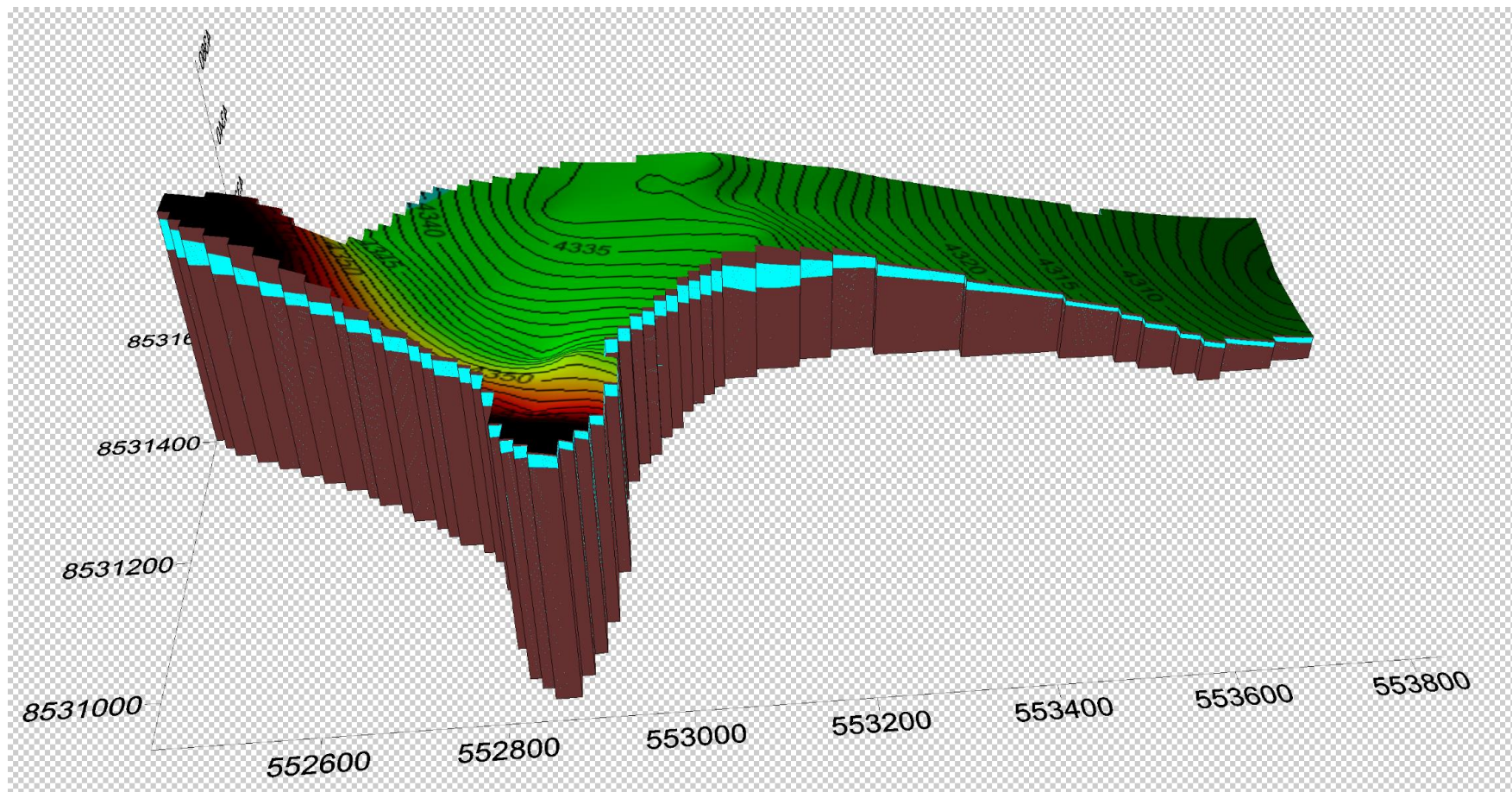
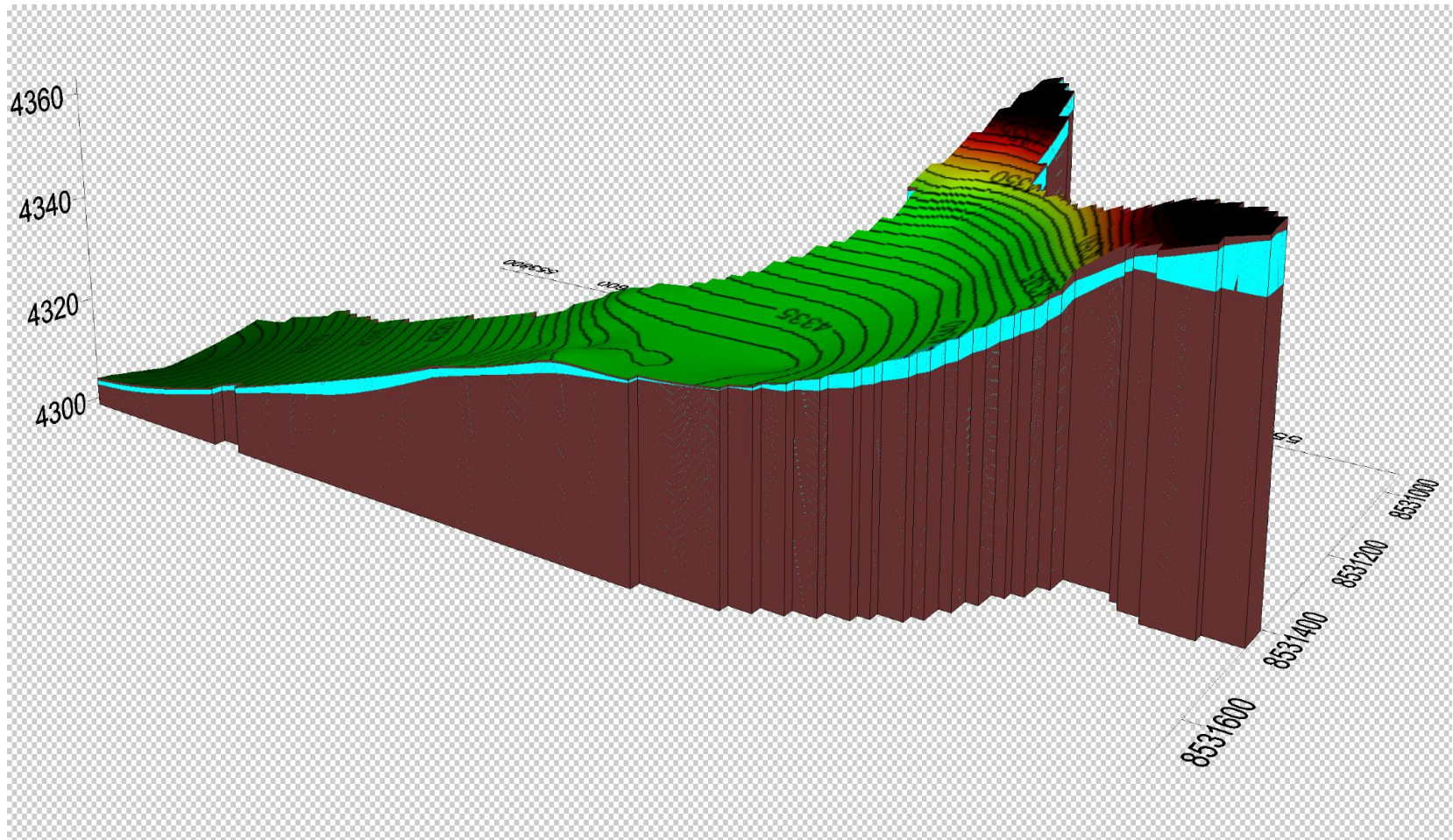


Figura 20. Superficie piezométrica y terreno natural del bofedal Rosaspata

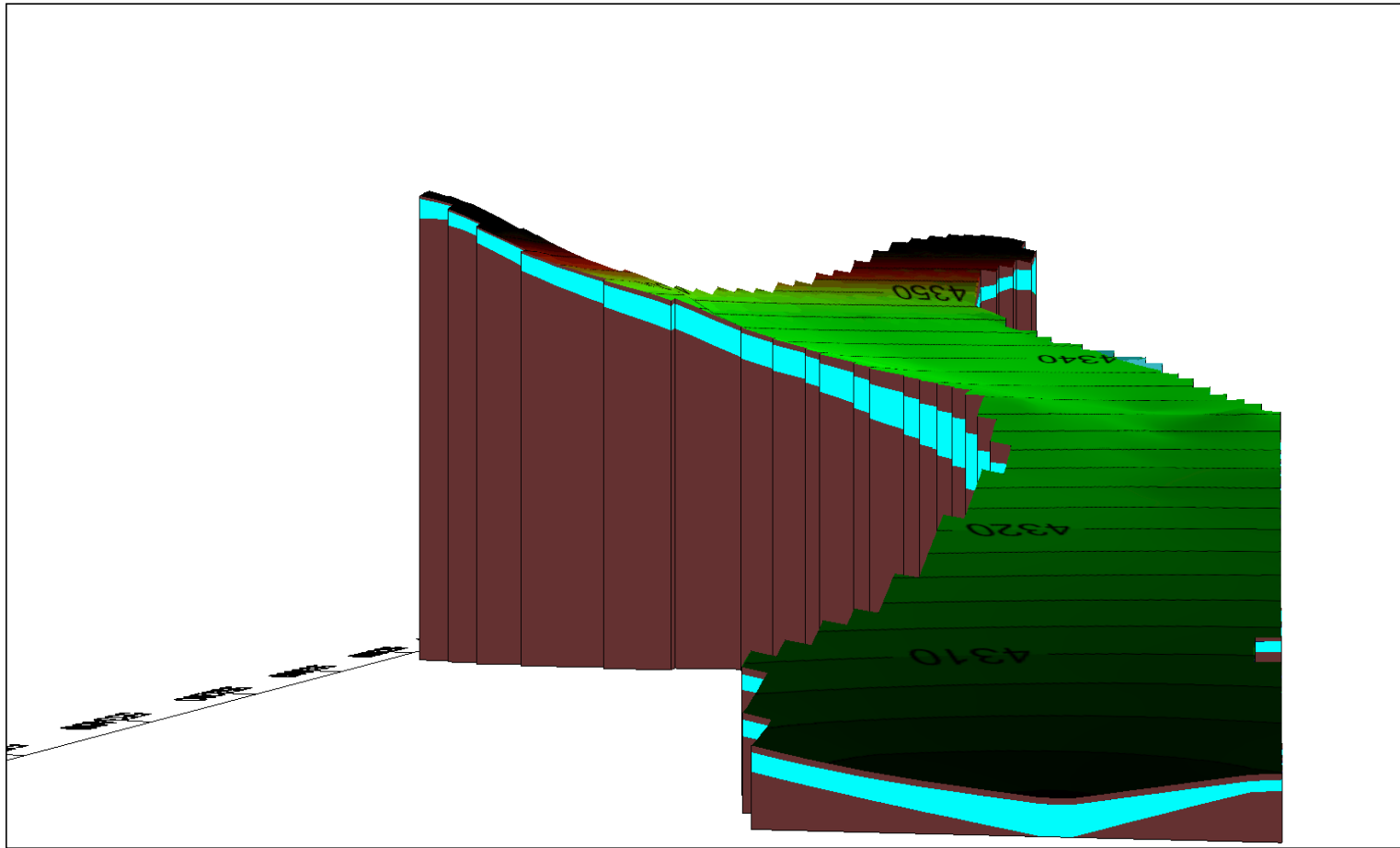


**Figura 21.** Superficie en vista desde margen derecho del bofedal Rosaspata

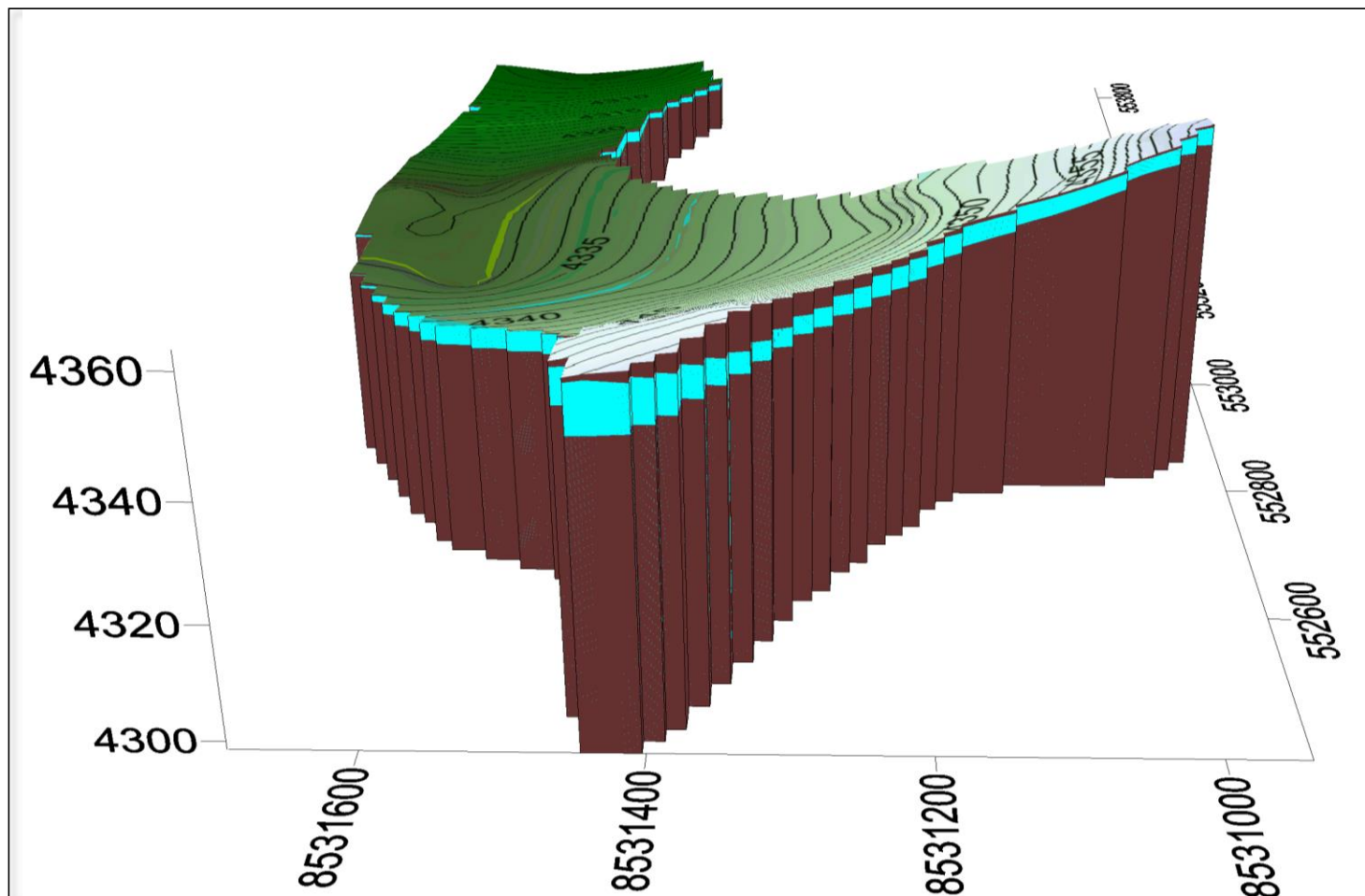




**Figura 22.** Superficie en vista desde margen izquierdo del bofedal Rosaspata



**Figura 23.** Superficie en vista desde parte inferior del bofedal Rosaspata



**Figura 24.** Superficie vista desde parte superior del bofedal Rosaspata

Volumen del bofedal Rosaspata entre las superficies piezométricas mínimas y máximas reportadas por el programa surver v.10

### Volumes

Z Scale Factor: 1

#### Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: 247083.60915028

Simpson's Rule: 247162.73232386

Simpson's 3/8 Rule: 246946.09236821

#### Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 247078.95624836

Negative Volume [Fill]: 0

Net Volume [Cut-Fill]: 247078.95624836

#### 4.7 Calculo de volumen de agua

Volumen de agua y/o volumen útil de agua del bofedal Rosaspata

**Tabla 5.** Resultados del cálculo del Volumen

Descripción	Valor	U.M.
Conductividad Hidráulica (k)	0.016	m/día
Porosidad efectiva (me)	0.4134	
Porosidad (n)	0.6831	
Retención específica (Sr)	0.1831	
Volumen de espesor saturado entres las superficies piezometrica mínimo y máximo	247,078.96	m3
Contenido de Volumen de agua	168,779.64	m3
Volumen Útil	102,142.44	m3

#### 4.8 Resultados de cálculo de caudal “Q” y Tiempo de residencia “T”

Teniendo las líneas equipotenciales y la dirección del sentido del agua se determinó perfil longitudinal de las tres superficies y secciones transversales cada 100 metros para cálculo del caudal

#### 4.8.1 Perfil longitudinal y Secciones Transversales

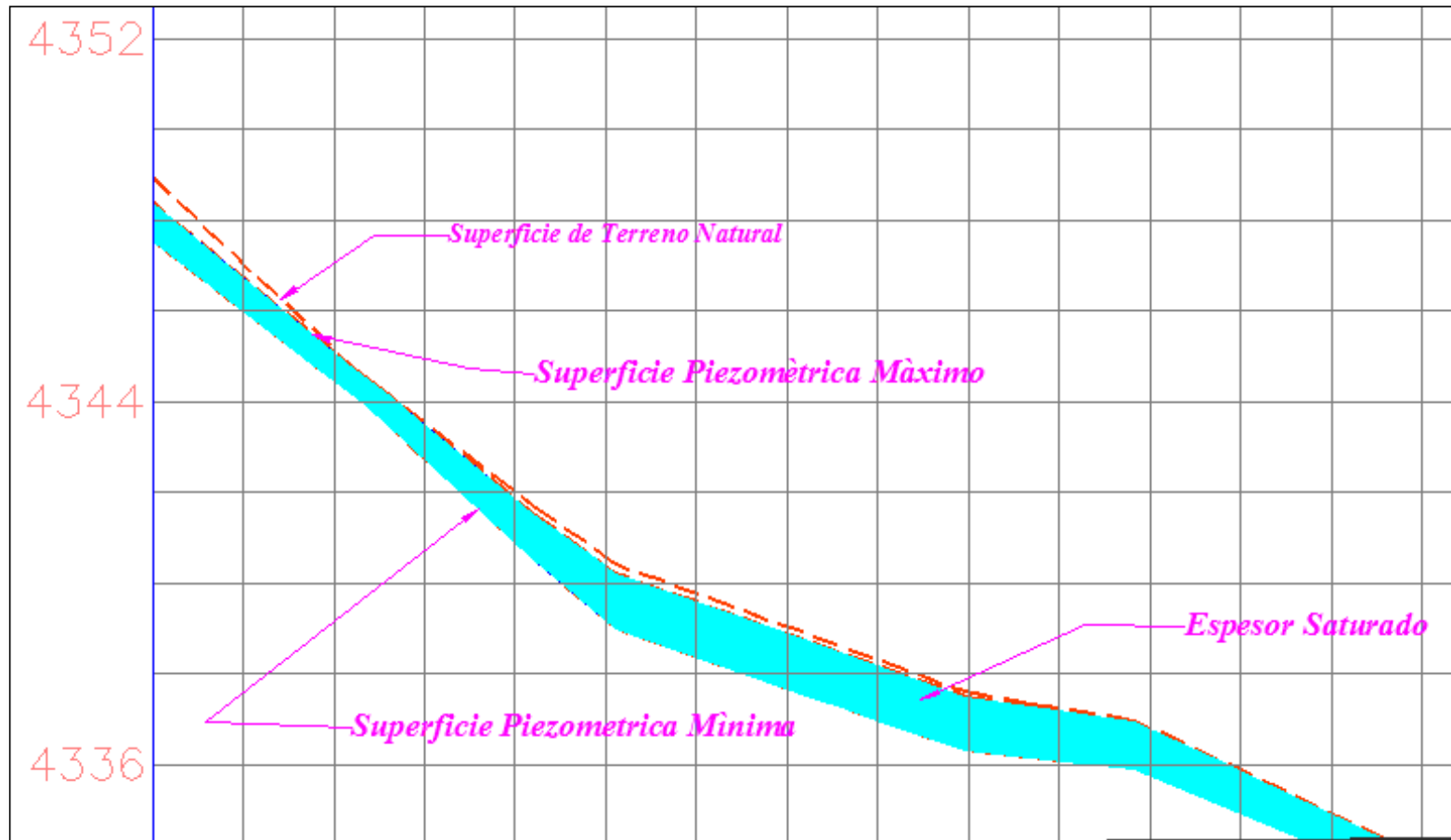
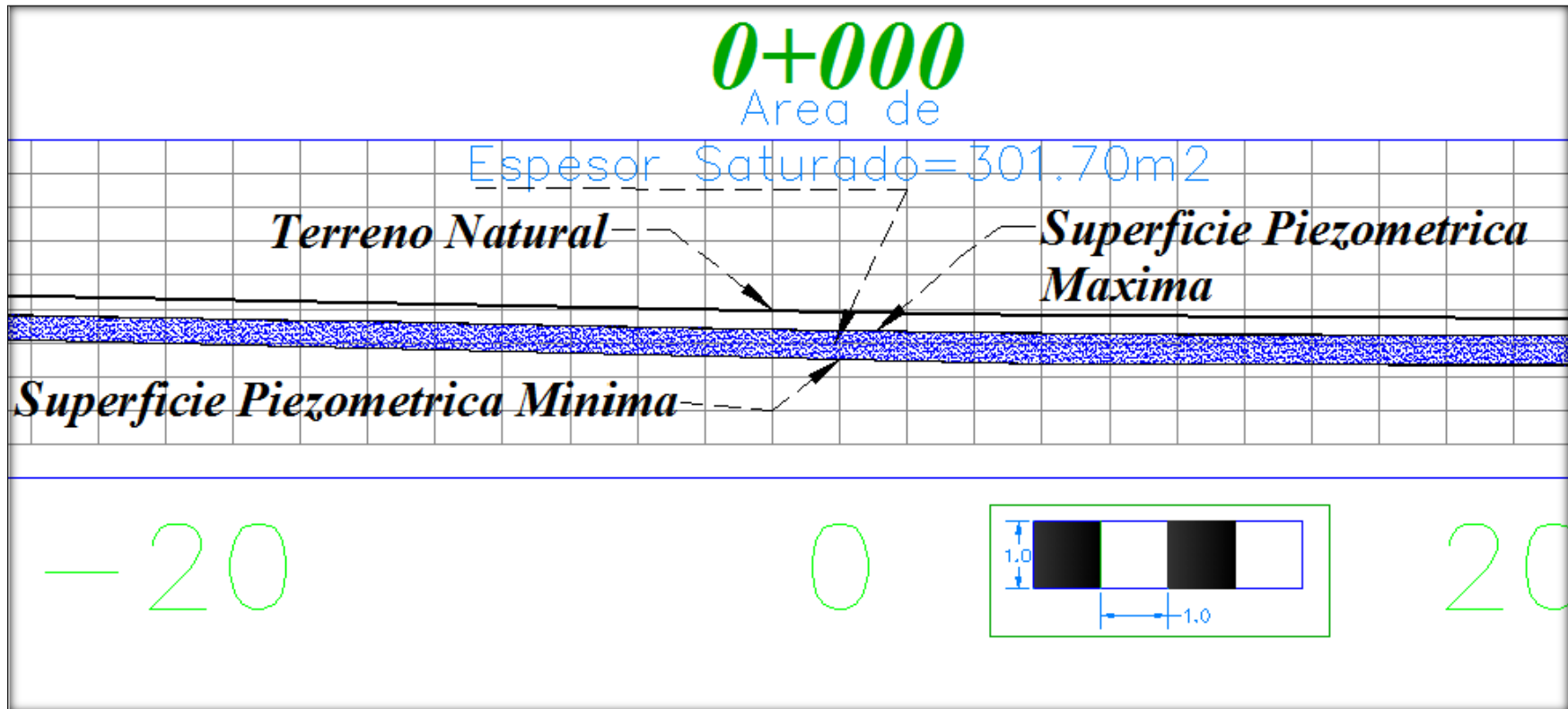


Figura 25. Perfil longitudinal de las tres superficies determinadas en el bofedal Rosaspata

Ver Anexo 3.4 perfil longitudinal



**Figura 26.** Secciones Transversales de las tres superficies determinadas en el bofedal Rosaspata

Ver Anexo N° 3.5 Planos Secciones transversales

#### 4.8.2 Determinación de Caudal “Q” y Tiempo de residencia “T”

Tabla 6. Caudal y tiempo de residencia del agua del bofedal Rosaspata

TRAMO PROG.	LONGITUD INCLINADA (m)	COTA INICIO (m)	COTA FINAL (m)	DIFERENCIA ▲V	GRADIENTE (i)	CAUDAL UNITARIO (q m <sup>3</sup> /dia)	VELOCIDAD AD (m/dia)	VELOCIDAD D (m/año)	AREA m <sup>2</sup>	CAUDAL (Q m <sup>3</sup> /dia)	VOLUMEN DE SUELO SATURADO (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA (m <sup>3</sup> )	TIEMPO DE RESIDENCIA (dias)	TIEMPO DE RESIDENCIA A (años)	
0	100	100.35	4353.80	4344.00	9.800	0.0977	0.00156	0.00378	1.37959	329.130	0.514	37136.370	25367.854	49327.327	135.14
100	200	100.05	4344.00	4338.30	5.700	0.0570	0.00091	0.00220	0.80482	311.020	0.284	37136.370	25367.854	89478.289	245.15
200	300	100.07	4338.30	4335.90	2.400	0.0240	0.00038	0.00093	0.33880	243.535	0.093	31558.370	21557.523	230680.104	632.00
300	400	100.01	4335.90	4332.22	3.680	0.0368	0.00059	0.00142	0.51981	209.670	0.123	23163.930	15823.281	128184.602	351.19
400	500	100.25	4332.22	4330.60	1.620	0.0162	0.00026	0.00063	0.22828	195.950	0.051	19402.460	13253.820	261604.493	716.72
500	600	100.02	4330.60	4328.50	2.100	0.0210	0.00034	0.00081	0.29660	145.140	0.049	21435.320	14642.467	300313.400	822.78
600	700	100.10	4328.50	4325.50	3.000	0.0300	0.00048	0.00116	0.42338	82.825	0.040	17305.180	11821.168	297640.347	815.45
700	800	100.09	4325.50	4322.63	2.870	0.0287	0.00046	0.00111	0.40507	81.695	0.037	9128.380	6235.596	166368.587	455.80
800	900	100.06	4322.63	4318.75	3.880	0.0388	0.00062	0.00150	0.54779	84.800	0.053	7937.330	5421.990	103055.615	282.34
900	1000	100.08	4318.75	4314.80	3.950	0.0395	0.00063	0.00153	0.55757	70.950	0.045	8691.950	5937.471	132516.710	363.06
1000	1100	100.08	4314.80	4311.61	3.190	0.0319	0.00051	0.00123	0.45028	63.910	0.033	7344.310	5016.898	153922.851	421.71
1100	1200	100.06	4311.61	4306.87	4.740	0.0474	0.00076	0.00183	0.66921	65.225	0.049	6488.820	4432.513	89659.869	245.64
1200	1300	83.06	4306.87	4303.41	3.458	0.0416	0.00067	0.00161	0.58813	34.400	0.023	6396.870	4369.702	190695.446	522.45

Ver Anexo N° 2.2 Cálculos de tiempo de residencia

#### 4.9 Determinación de la calidad de agua con fines de riego

**Tabla 7.** Resultados del análisis de agua del bofedal Rosaspata

Nº De Campo	Bofedal Centro (subterránea)	Bofedal Entrada (subterránea)	Bofedal Salida (subterránea)
pH	6.04	5.36	6.28
C.E (uS/cm)	39.1	69.1	29.4
Acidez total (meq/l)	0.05	0.14	0.00
<b>CATIONES (meq/l)</b>			
Calcio	0.31	0.36	0.32
Magnesio	0.07	0.06	0.06
Potasio	0.06	0.09	0.07
Sodio	0.02	0.06	0.03
Suma de cationes (meq/l)	0.51	0.71	0.48
<b>ANIONES (meq/l)</b>			
Nitratos	0.00	0.00	0.00
Carbonatos	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos	0.06	0.00	0.13
Cloruros	0.52	0.71	0.34
Sulfatos	0.03	0.03	0.04
Suma de aniones (meq/l)	0.55	0.74	0.51
RAS	0.05	0.13	0.07
Sales Solubles Totales (ppm)	25.02	44.22	18.81
<b>CLASIFICACION</b>	<b>C1-S1</b>	<b>C1-S2</b>	<b>C1-S3</b>

Ver **Anexo** Nº 1.1 Análisis de calidad de agua

#### 4.10 Aprovechamiento hídrico

En la actualidad el uso hídrico del bofedal es para consumo animal principalmente para camélidos sudamericanos, en tiempo de estiaje sirve de soporte a las poblaciones de flora y fauna, los animales consumen el agua de los pozos superficiales que tienen diámetros aproximados de 1m y profundidad de 80cm en los puntos más bajos.

**Tabla 8.** Consumo de agua de camélidos en el bofedal

Descripción	Valor	U.M.
Cantidad de Cabezas	480	UND
Consumo Unitario*	2.9	l/dia
Consumo Total	1392	l/dia
Consumo Anual	495552	litros
Consumo Anual	495.552	m3



\* Consumo de agua de alpacas tomado del estudio comparativo de la conducta de pastoreo invernal de alpacas mantenidas en el altiplano y en la zona central de Chile. (RAGGI S., Luis A. et al. 1992)

El requerimiento de agua de pastos naturales del lugar, fue determinado mediante el índice de consumo durante el periodo máximo de empleo de agua, considerando, el volumen de agua que se debe disponer para regar. El índice más alto de consumo puede variar entre 2.5 mm a 9 mm por día. (Gonzales 2012), para el cálculo se utilizó en promedio 5 mm/día

**Tabla 9.** Consumo de agua de pastos naturales del bofedal

Descripción	VALOR	U.M.
Área del Bofedal	36.4	Ha
Área del Bofedal	36400	m <sup>2</sup>
Consumo de Agua de los pastos	5	L/m <sup>2</sup> /día
Consumo Anual	50	m <sup>3</sup> /Ha /día
Volumen Total Anual de agua consumido por las plantas	664300	m <sup>3</sup>

El aprovechamiento hídrico del bofedal de manera indirecta esta relacionada a su ubicación en la cabecera de cuenca, por lo tanto, es tributaria a cursos de agua, principalmente río, posiblemente también esté relacionado con manantes en las partes bajas, estas aguas se aprovechan para riego y piscicultura, según los resultados de calidad de agua son de buena calidad apta para riego y bebida para animales.

Las futuras posibles exploraciones pueden ser para consumo humano mediante captaciones de galerías filtrantes y para riego mediante pozos tajo abierto.

## V . DISCUSIÓN

### 5.1 Parámetros hidrogeológicos

Los principales parámetros hidrogeológicos determinados para el bofedal se muestra en la tabla N° 02, de donde se desprende que la conductividad hidráulica presenta valores bajos de 0.0160 m/día, al ser comparados con la tabla de clasificación de conductividad hidráulica propuesto por Villón, 2006 mostrada en la tabla N° 08, se observa que el valor se encuentra clasificado como muy lenta, situación que guarda relación con un acuitardo; formación geológica que almacena agua, a veces en grandes cantidades, pero que circula y transmite con dificultad (<http://www.cgsingenieria.com/glosario>), esta dificultad de moverse el agua en el bofedal posiblemente esté relacionada con el alto contenido de materia orgánica que se encuentran en diferentes etapas de degradación y textura de suelo arcillo limoso que presenta poca capacidad de moverse el agua.

**Tabla 10** Clasificación de conductividad hidráulica

Clasificación	Conductividad Hidráulica cm/h	Conductividad Hidraulica m/día
Muy Lenta	< 0.1	< 0.03
Lenta	0.1 - 0.5	0.03 - 0.12
Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	0.12 - 0.50
<b>Moderadamente</b>	2.0 - 6.0	0.50 - 1.50
Moderadamente rápida	6.0 - 12.0	1.50 - 3.00
Rápida	12.0 - 18.0	3.00 - 4.50
Muy rápida	> 18.0	> 4.50
Fuente: Villón. 2006		

La porosidad total se muestra en la tabla N° 3, el valor promedio determinado es de 68.31% correspondiendo a una alta porosidad de un tipo de material arcilla, que no indica necesariamente un acuífero de buena productividad, ya que gran parte del agua puede ser retenida en pequeños intersticios bajo la tensión capilar, situación que en los bofedales cuanta más agua retenida se muestra, mayor productividad vegetal se halla y se encuentra en relación al alto contenido de materia orgánica. El rendimiento específico de un acuífero es la relación entre la cantidad de agua que puede drenar libremente el material y el volumen total de la formación, resultando siempre menor que la porosidad total, y asociado al concepto de porosidad eficaz. La relación entre el rendimiento específico ( $S_y$ ) y la porosidad total ( $P$ ) depende del tamaño de las partículas en la formación (<http://www.ingenierocivilinfo.com/>). En la tabla N° 09 se muestra el valor de la porosidad efectiva de 41.34%, resultado que obedece a la presencia de materia orgánica en proceso de descomposición y sin descomponerse que se comporta como esponja para el agua, y por el tipo de textura fina de clase textural arcilla limosa que presenta el bofedal tendrá un rendimiento específico pequeño a diferencia de un acuífero de textura gruesa que presenta un rendimiento específico mayor, ya que es capaz de producir una mayor cantidad de su agua almacenada a diferencia del bofedal que tiene menor rendimiento

relacionado a su capacidad de retención del agua que es la parte de la porosidad total de un acuífero que no puede ser fácilmente extraída (García, 2010), la porosidad efectiva guarda relación con la conductividad hidráulica que presenta el bofedal de Rosaspata, cuyos valores se aproximan al determinado por Soliz, 2011 , quién reporta valores de porosidad de 0.70 y conductividad hidráulica de 0.01m /día, lo que muestra que el bofedal boliviano tiene respuestas similares al bofedal de Rosaspata ubicándose ambos resultados dentro de la misma categoría (tabla N° 8) , donde el Coeficiente de Conductividad Hidráulica, representa la velocidad promedio del flujo subterráneo a través del medio poroso saturado que compone el acuífero y sobre la cual influyen las propiedades del fluido, el tamaño de poros y granos del suelo, su textura y su estructura o empaquetamiento. El agua en un acuífero que se mueve desde una altura de carga mayor a otra menor, en otras palabras, existen variaciones en el nivel freático entre pozos, o sea existe una pérdida de carga hL la cual divide entre el espaciamiento entre pozos, resulta en la expresión a dimensional llamada gradiente (García, 2010).

**Tabla 11.** Clasificación de las clases texturales del suelo de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; así como las porosidades efectivas y conductividades hidráulicas de las 12 clases texturales. (Charbeneau, 2000 y Bedient et al., 1994)

Clases Texturales	Porosidad efectiva ( $\theta_e$ )	Conductividad Hidráulica (K) (cm/h)
A. Arcilla	0.385	0.06
B. Arcilla limosa	0.423	0.09
C. Arcilla arenosa	0.321	0.12
D. Migajón arcillo limoso	0.423	0.15
E. Migajón arcilloso	0.309	0.23
F. Migajón arcillo arenoso	0.330	0.43
G. Limo	0.460	0.25
H. Migajón limoso	0.486	0.68
I. Migajón	0.434	1.32
J. Migajón arenoso	0.412	2.59
K. Arena migajonosa	0.401	6.11
L. Arena	0.417	22.1

**Tabla 12.** Porosidad eficaz

Arcilla	1- 10%
Arena	10 - 30%
Grava	15 - 30%
Grava y arena	15 - 25 %
Arenisca	5 - 15%
Lutita	0.5 -5 %
Caliza	0.5 - 5%

Fuente: Walton 1971

**Tabla 13.** Porosidad de los suelos

Tipo de Terreno	Porosidad	Indice de huecos e	Humedad natural (%)	Densidad Seca (T/m <sup>3</sup> )	Densidad Humeda (T/m <sup>3</sup> )
Arenas de granulometria cerrada poco compactas	46	0.85	32	1.43	1.89
Arenas de granulometria cerrada compactadas	34	0.51	19	1.75	2.09
Arenas de granulometria abiertas poco compactas	40	0.67	25	1.59	1.99
Arenas de granulometria abiertas compactadas	30	0.43	16	1.86	2.15
Arcillas glaciaria blanda	55	1.2	45	-	1.77
Arcillas glaciaria dura	37	0.6	22	-	2.07
Bentonita blanda	84	5.2	194	-	1.27

Tabla según Terzaghi y Peck.

## 5.2 Volumen de almacenamiento de agua del bofedal

El agua almacenada en el bofedal de Rosaspata tiene un volumen total de 168,779.64 m<sup>3</sup>, volumen de agua que contribuye el bofedal como aporte al ciclo hidrológico durante los meses de febrero a octubre del año 2015, el agua se encuentra depositados en la zona no satura del bofedal el que comprende el

volumen a partir del límite inferior de la napa freática (nivel mínimo) que llega a su punto crítico en el mes de octubre como punto más bajo registrado en los piezómetros de monitoreo con el límite superior de la napa freática, el cuál es el punto más alto registrado en el mes de febrero, encontrándose el nivel de la napa freática cercano a la superficie del terreno, cuando la superficie freática desciende un valor unitario (1 cm) en un acuífero libre, lo que equivale esencialmente al rendimiento específico (porosidad eficaz) con valores promedio de Coeficiente de Almacenamiento (S) para acuíferos libres oscilan entre 0.3 a 0.05, (<http://www.ingenierocivilinfo.com/>) que tiene relación con la baja conductividad hidráulica que tiene el suelo del bofedal consecuentemente el agua es liberada poco a poco durante todo el año hasta la época de recarga que se da inicio en diciembre.

Manejar el componente de almacenamiento hídrico del bofedal permitiría incrementar y estabilizar la provisión de agua y regulación hídrica de las partes baja de la cuenca ante un panorama climático regional y global de crecientes incertidumbres, cuyas oportunidades y riesgos de la relación napa-vegetación del bofedal señala una responsabilidad pocas veces asumida por los pobladores alto andinos que usufructúan los bofedales para la ganadería alpaquera, siendo necesario compatibilizar estrategias de uso del bofedal y el ordenamiento hidrológico del territorio con énfasis en la cabeceras de cuenca.

El almacenamiento del agua en el bofedal representa un valor económico de servicio ambiental que está relacionado con la mayor presencia de materia orgánica (carbono) que favorece la retención y almacenamiento de agua (Buytaert, 2006), favoreciendo el valor local del servicio de provisión de agua en las poblaciones locales, mientras que el servicio de almacenamiento de agua y su consecuente regulación tiene mayor peso para las poblaciones regionales; ciudades y otros usuarios del agua en la parte baja (Castro, 2011)

Las líneas equipotenciales generadas para el bofedal de Rosaspata (figura N<sup>o</sup> 14) se presentan paralelas a la topografía del terreno, debido que no existe ninguna alteración hidrogeológica aparente en el bofedal.

El flujo de aguas subterráneas realizadas con el registro de los piezómetros máximos del mes de febrero y mínimos del mes de octubre se muestran paralelas en el bofedal con una ligera variación en la parte central en la cota 4330 msnm, (figura N<sup>o</sup> 15 y figura N<sup>o</sup> 16), por la topografía elevada del terreno en la margen derecha de la misma sección del bofedal, en este punto se encuentra el piezómetro Pz-19 el que presenta fluctuaciones de 1.13 a 2.61 m y en el piezómetro Pz-20 fluctúa de 0.0 a 0.69 m. de niveles mínimos y máximos de la napa freática respectivamente.

La figura N<sup>o</sup> 21 muestra la margen derecha del bofedal, donde la superficie piezométrica máxima no llega a interceptar la superficie del terreno, sin embargo, en la figura N<sup>o</sup> 22 muestra la margen izquierda del bofedal donde la superficie piezométrica máxima coincide, con la superficie del terreno natural, esto significa que por margen izquierdo del bofedal en la época de lluvia el nivel freático está por encima de la superficie natural, mientras en la margen derecha el nivel freático está por debajo de la superficie natural del terreno, el que genera sitios de ingreso del agua al bofedal generando zonas húmedas con una cobertura vegetal mayormente pulviforme, adaptada al alto nivel de la napa freática, los bofedales en sus distintos tipos, son en general ecosistemas de alto valor biológico e hidrológico; funcionan como reguladores del flujo hídrico por su capacidad de retener agua durante la época de lluvias y liberarla durante la época seca y, por esta misma cualidad, son el hábitat de numerosas especies vegetales y animales, algunas de ellas endémicas (Instituto Socioambiental Bolivia, 2006).

### **5.3 Tiempo de residencia del agua en el bofedal**

En el Tabla N° 06 se muestra el resultado del cálculo de Caudal y tiempo de residencia del agua en el bofedal Rosaspata, las secciones transversales son variables en cada corte y por ende varia el caudal y tiempo de residencia.

En lo progresivo de 0+000 a 0+100 el tiempo de residencia es menor a 135.14 años en comparación con la progresiva 0+500 0+600 que muestra tiempo de residencia del agua de 822.78 años con cargas hidráulicas mayor de 8.9 metros. 1.6 a 2.1 metros respectivamente, esta variación posiblemente este asociada con la pendiente del terreno del bofedal, la primera progresiva presenta una alta pendiente y la segunda presenta una baja pendiente, siendo en consecuencia que el tiempo de residencia es directamente proporcional a la carga hidráulica y a la pendiente del terreno, los humedales (bofedales) son un reflejo de las condiciones ambientales presentes en la cuenca hidrológica, donde los aportes directos (ríos) o difusos (escorrentía) afectan su comportamiento y su principal fuente hídrica proviene de aguas subterráneas con tiempos de residencia bajos y un acoplamiento funcional entre la vegetación ripariana y los cuerpos de agua (Centro de Ecología Aplicada Ltda., 2006)

Durante el periodo de crecidas o de mayores caudales, se produce una reducción de la producción biológica, por el “lavado hidráulico” de los componentes bióticos y abióticos del humedal. En cambio, durante el periodo de estiaje la producción biológica aumenta debido al incremento del tiempo de residencia del agua y de la radiación solar. Esta alta sensibilidad a los cambios climáticos e hidrológicos conlleva a que la organización de los humedales muestre una marcada alternancia temporal y solamente surja cuando las condiciones hidrológicas lo permitan. La estrecha dependencia a las condiciones hidrológicas también es evidente a través del efecto en la disponibilidad de nutrientes, en los niveles de pH, en el grado de



anaerobiosis del sustrato, en la salinidad del suelo y en diversas propiedades del sedimento corresponden a humedales donde la principal fuente hídrica proviene de aguas subterráneas. Presentan tiempos de lluvia.

El bofedal almacena bastante agua por lo tanto puede estar durante varios años sin recarga hasta agotar su volumen de agua gracias a la baja conductividad hidráulica que tiene y la cobertura vegetal sin considerar la evapotranspiración o la pérdida de agua por evaporación, en el periodo de estiaje la producción biológica aumenta debido al incremento del tiempo de residencia del agua y de la radiación solar, comportándose como colchón de agua muy favorable en el aporte que hace al ciclo hidrológico durante esta época seca.

(Soliz, 2011) con el 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” determinó un volumen de 2'649.251.61m<sup>3</sup> de agua y 493 años de tiempo de residencia, valores superiores a los determinados en el presente trabajo de investigación, posiblemente porque el bofedal de Rosaspata tiene un área menor, además solo se determinó el volumen útil o volumen con que aporta al ciclo hidrológico de febrero a octubre y no así el volumen total del agua aportando al bofedal.

El tiempo de residencia en promedio del bofedal Rosaspata es de 462.2 años siendo ligeramente menor al reportado para los bofedales de las Comunidades de la Cordillera Real de los Andes Centrales de Bolivia de 493 años de tiempo de residencia, esta ligera diferencia puede atribuirse a la diferencia de la carga hidráulica, de la topografía en relación a la pendiente del bofedal.

El bofedal alto andino estudiado cumple con las características de acuífero libre, porque es capaz de almacenar, transmitir agua y la presión del agua en los piezómetros es igual a la presión atmosférica.

Se tiene velocidades de flujo que 1.379 m /año en las primeras 100 metros con gradiente hidráulico, 0.097 lo que viene hacer la máxima, y en la parte central 0.228 m/ año con gradiente hidráulico en 100 metro de 0.016, como la velocidad mínima con promedio de velocidad de flujo de 0.554 m/año. (Solis 2011) determinó en bofedal boliviano velocidad de flujo como mínimo  $8.75E-4$  m/año y como máximo 1.44 m/año lo que nos indica que existe diferencias en las mínimas probablemente se debe a las diferencias de la topografía del bofedal.

#### **5.4 Calidad de agua.**

Respecto a la calidad de agua como se muestra en la tabla 7 de la página 63, presenta valores que se encuentra dentro de los parámetros de agua apta para riego, las características del agua del bofedal en su punto de salida reporta que el agua es de calidad apta para uso agrícola, estando sus características dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales del DS N° 002 -2008 – MINAM.

Conductividad eléctrica su clasificación corresponde a clase C1 con un valor promedio de 45.8 micromhos/cm. La conductividad eléctrica varía entre 0 – 250 micromhos/cm para clase C1 (Vaques, 2000).

El pH es de 5.89 en promedio en lo cual no cumple con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales del DS N° 002 -2008 – MINAM, que es de (6.5 – 8.5) probablemente contenga acidos de naturaleza orgánica que hace la expresión de pH sea elevada en hidrogeniones por ello a acidez.

En los parámetros evaluados de cationes calcio, magnesio, potasio y sodio la suma de cationes en promedio es de 0.56 meq/l, lo cual se encuentra dentro de los parámetros del DS N° 002 -2008 – MINAM.

De igual manera del parámetro de evaluación de aniones nitratos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, la suma de aniones es de 0.6 meq/l lo cual se encuentra dentro de los parámetros del DS N° 002 -2008 – MINAM.

En la evaluación de sodio RAS, relación de absorción de sodio es de 0.08 en promedio lo cual corresponde su clasificación a clase S1. El valor de RAS varía entre 0 – 10 para clase S1 (Vasques, 2000). Por lo tanto, se puede utilizar para riego de la mayoría de los cultivos de tallo alto y corto, en la mayoría de suelos.

## **VI . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

1. Se determinó las características hidrogeológicas de un bofedal ubicado en la comunidad de Rosaspata, cabecera de la microcuenca de Vinchos a 4400 msnm con un área de 36.4 ha; la conductividad hidráulica fue de 0.016 m/día, la porosidad de 68.31% y la porosidad efectiva es de 41.34%.
2. Los registros de la lectura de los niveles freáticos durante el año 2015 muestran que el nivel piezómetro máximo fue durante el mes de febrero y el mínimo durante el mes de octubre, con una diferencia media de 62 cm.
3. El volumen de agua útil anual disponible que aporta el bofedal es de 168,779.64 m<sup>3</sup>, calculado por diferencia de superficies y la relación de volumen vacíos, volumen total igual a la porosidad.
4. El tiempo aproximado de residencia de agua en el bofedal es de 462.26 años con una velocidad del flujo de agua de 0.554 m /año calculado por la Ley de Darcy.
5. Las características del agua del bofedal en su punto de salida reporta que el agua es de calidad apta para uso agrícola, estando sus características dentro

de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales del DS N° 002 -2008 – MINAM, su clasificación corresponde a C1 – S1, lo cual es apto para riego de vegetales de tallo alto y tallo corto.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

1. A la Autoridad Nacional de Agua quienes deben implementar el plan de manejo y monitoreo de bofedales alto andinos
2. A los estudiantes y/o egresados, llevar a cabo investigaciones concernientes a las caracterizaciones hidrogeológicas de los bofedales, monitorear al menos 5 años para ver la influencia del cambio climático.
3. Realizar mediciones de nivel freático mensuales en época de lluvia y quincenal en la época de sequía en todos los piezómetros instalados en la zona de estudio, por al menos 5 años, con el fin de tener datos y relacionar el comportamiento con el cambio climático. se debe realizar sondaje geofísico con equipos apropiados sondaje vertical y seccionar a distancias no mayor de 20 metros.
4. El Gobierno Regional de Ayacucho debe implementar programas para monitoreo y manejo de bofedales alto andinos y aguas subterráneas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alzérreca, H. (1988). Diagnóstico y prioridades de investigación en praderas y pasturas del Altiplano Alto andino de Bolivia. Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR). Oruro, Bolivia. pp.214-264.1
2. Buttolph, L. (1998). Rangland "Dinámica y desarrollo de los altos andes": The Camelids Herders of Cosapa, Bolivia. Thesis for Doctor of Philosophy, Utah State University. Logan, Utah. 286 p.
3. Buytaert, W. R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth Science Reviews*, 53-72.
4. Cáceres M. C. W. (2013) "Protección y Conservación de los Bofedales y Humedales en Perú, Bolivia, España, Paraguay y Venezuela" Informe de investigación n.º 33 /2013-2014" Carlos William Cáceres Mayorga Especialista parlamentario Edif. Luis Alberto Sánchez, Jr. Huallaga N° 364 of.111, Cercado de Lima. Lima 1- Perú.
5. Castro, M. (2011). Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los páramos ecuatorianos - la experiencia en Oña-Nabón-Saraguro-Yacuambi y el Frente Suroccidental de Tungurahua. Quito: EcoCiencia / Wetlands International.

6. Custred, G. (1977). Las punas de los Andes Centrales. En: Pastores de puna uywamichiq punarunakuna. Complilador Jorge A. Flores Ochoa. Instituto de Estudios Peruanos. Lima, Perú. pp.55-85.
7. Centro de Ecología Aplicada Ltda. (2006). Conceptos y Criterios Para La Evaluacion Ambiental De Humedales. Chile: Ministerio Agricultura Chile.
8. Custodio E., Llamas M.R., (1996). Hidrología Subterránea. 2 tomos. Ed. Omega S.A., Barcelona – España. 235p
9. Cordero, R., H. Alzérreca, R. Lara y V. Rivero. (1980). Resumen de las investigaciones realizadas en las praderas naturales de Ulla Ulla. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. Instituto Nacional de Fomento Lanero. La Paz, Bolivia. 31 p.
10. Collazo y Montaña (2012) Manual de aguas Subterráneas María Paula Collazo Caraballo (1) Jorge Montaña Xavier (2) Montevideo, Uruguay 2012 Impreso en: Denad Internacional S.A.
11. Convención Ramsar sobre Humedales (1971), contention om wetlands of international. Ramsar, Iran
12. Convención de Ramsar, (2010) El manejo de las aguas subterráneas: Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 11. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
13. Choque, J., Sotomayor, M., Miranda, F., Mamani, W. y Canahua, F. (1990). Evaluación agrostológica y ganadera de unidades familiares alpaqueras de Puna seca del Altiplano. Proyecto Alpacas. Informe técnico N° 20 Puno-Perú.

14. Constitución política del Perú Ley general del ambiente Ley N° 28611, y su reglamento de la ley marco del sistema nacional de gestión ambiental- DECRETO SUPREMO N° 008 - 2005 – PCM Ley de recursos hídricos y su reglamento Ley N° 29338, Lima 2009 Estándares de nacionales para calidad ambiental para agua. DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM
15. Fetter 2000 Hidrogeología Aplicada, Fourth edition C.W. Fetter (4<sup>a</sup> edition)
16. Feth J.h., (1973), en Bouwer H., 1978.
17. Fiorio, D. (1996). Manejo de Agua y Conservación de Bofedales. En: Seminario Talle Manejo Sostenible de Praderas Nativas Andinas. Programa de Autodesarrollo Campesino-Fase Consolidación, Foro Boliviano para el Medio Ambiente y Desarrollo (PAC-C, FOBOMADE). Potosí, Bolivia. pp.131-138.
18. FCIHS-(2009) Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea Barcelona 2009, Editor Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea.
19. Gonzales Guzman W. D. (2002) Manejo de pasturas y Pastizales
20. Keller, E.A., (1988). Environmental Geology. Charles and Merrill Publishing Co., Fifth Edition. Columbus, Ohio. USA.
21. Loza, F., S. Moreau, M. Liberman, J.L. Lizeca y F. Gasc. (2000). Zonificación de las Áreas Propicias para la Crianza de Camélidos en el Altiplano Central y Norte de Bolivia. Informe Final de la Asociación Boliviana de Teledetección y Medio Ambiente (ABTEMA). Unidad Ejecutora de Proyectos en Camélidos (UNEPCA). La Paz, Bolivia. 38 p.



22. Lorini H. (2012). Cambio climático y relaciones hídricas en bofedales y pajonales de un valle glacial del Parque Nacional Sajama. Agua Sustentable, La Paz, Bolivia
23. Pacheco, A. (1998). Aprovechamiento de áreas hidromórficas en el Altiplano Peruano - Boliviano. Manejo de bofedales. Cría de alpacas. Corporación Andina de Fomento y Autoridad Bi-Nacional del Lago Titicaca (ALT). La Paz -Bolivia.
24. Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285
25. Mitsch, W.J., J.G. Gosselink, L. Zhang y C.J. Anderson. (2009). Wetland Ecosystems. Wiley. Nueva York USA.
26. Molina, J. (1996). Informe Final de Hidrología. Plan de Manejo del Parque Nacional Sajama. La Paz, Bolivia. s/p.
27. Olivares, A. (1988). Experiencias de Investigaciones en Pradera Nativa en un Ecosistema Frágil. En: Primera Reunión Nacional en Praderas Nativas de Bolivia. Programa de Autodesarrollo Campesino, Corporación Desarrollo de Oruro (PAC, CORDEOR). Oruro, Bolivia. pp.265- 291.
28. Iturraspe Rodolfo Lic. Claudio E. (2000) Conservación de ecosistemas a nivel mundial con énfasis en las turberas de tierra del fuego. Disertaciones y conclusiones A. Coronato y C. Roig Editores. Ushuaia, Argentina. Marzo de 2000. pp 85-93
29. INGEMMET, 1. (1995) carta geológica nacional. Geología del cuadrángulo de Ayacucho.
30. RAGGI S., Luis A. et al. Estudio comparativo de la conducta de pastoreo invernal de alpacas mantenidas en el altiplano y en la zona central de Chile

31. Rue (2012) Manual N° 11 Manejo de Aguas Subterráneas, Secretaría de la Convención de Ramsar Rue Mauverney 28 CH-1196 Gland, Suiza.
32. Vásquez V. A, (2000) Manejo de Cuencas Altoandinas Editorial Charles Sutton Lima Perú.
33. Velez, (1999) Hidráulica De Aguas Subterráneas 2ª edición María Victoria Vélez Otálvaro Profesora Asociada Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Colombia.
34. Villón (2007) Drenaje Primera edición editorial tecnológica de Costa Rica, 2007
35. Sánchez, F. J. (2011) Departamento de Geología Universidad de Salamanca España Francisco Javier Sánchez San Román javisan@usal.es
36. Sotomayor M. (1990). Tecnología campesina en el pastoreo Altoandino. Proyecto alpacas. INIAA-CORPUNO. Puno. Perú.
37. Solíz F. 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.
38. Walton, W.C. (1970) Groundwater resource Evaluation. McCraw-Hill Book
39. www.worldwildlife.org, Company, New York Ecorregiones terrestres 2014
40. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>.

## **ANEXOS**

1. Panel fotográfico
2. Resultados de Laboratorio
3. Análisis de calidad de agua con fines de riego
4. Determinación de porosidad del suelo
5. Determinación de porosidad efectiva del suelo
6. Cálculo de conductividad hidráulica
7. Cálculo del caudal "Q" y tiempo de residencia "T"
8. Datos meteorológicos
9. Esquema del piezómetro instalado
10. Esquema y geometría de pozo para la prueba de conductividad hidráulica
11. Plano Ubicación de piezómetros instalado, Flujo de Aguas Subterráneas y Líneas equipotenciales.
12. Plano Esquema General en tres dimensiones del bofedal
13. Plano Perfil Longitudinal del Bofedal de Estudio
14. Plano Secciones Transversales del Bofedal

## Anexo 01 Panel fotográfico



Foto N° 01 Vista panoramica de zona de estudio desde punto mas alto diciembre 2014

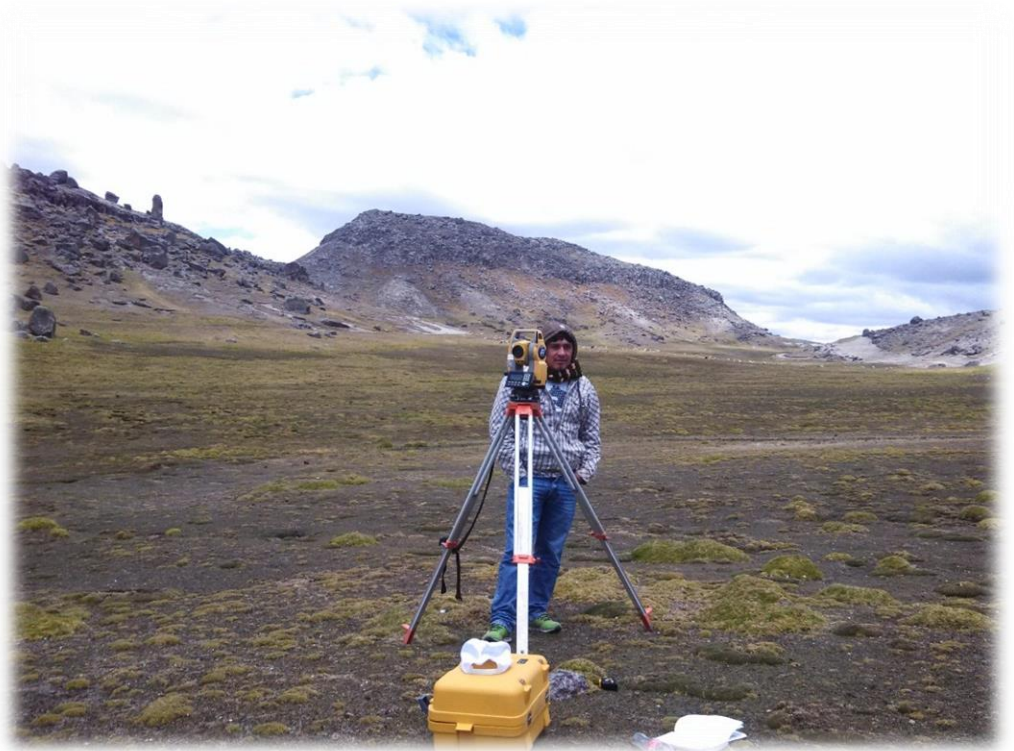


Foto N° 02 levantamiento topografico del area de estudio.



Foto N° 3 Transporte de piezómetros



Foto N° 04 perforacion para instalar piezometros.



Foto N° 5 Piezómetro instalado



Foto N° 6 bofedal en agosto 2015



Foto N° 7 toma de muestra de suelo inalterado.



Foto N° 8 Lectura Piezometrica

## Anexo N° 2.1 Resultados de Laboratorio, Análisis físico químico de Agua



# MULTISERVICIOS AGROLAB

**INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORIA Y CAPACITACION EN EVALUACION, MUESTREO DE SUELOS,  
INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ANALISIS AGRICOLA, USO, MANEJO,  
CONSERVACION Y RECUPERACION DE SUELOS.

### ANÁLISIS DE AGUA

1150091

SOLICITANTE: Sergio Gómez Portal

PROYECTO:

DEPARTAMENTO: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: Vinchos

FECHA DE INGRESO: 20-11-15

FECHA DE ENTREGA: 01-12-15

#### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

N° Laboratorio	A0460	A0461	A0462
N° Campo	Bofedal Centro (subterráneo)	Bofedal Entrada (subterráneo)	Bofedal Salida (subterráneo)
pH	6.04	5.36	6.28
C.E. (µS/cm)	39.1	69.10	29.40
Acidez total (meq/l)	0.05	0.14	0.00
<b>CATIONES (meq/l)</b>			
Calcio	0.31	0.36	0.32
Magnesio	0.07	0.06	0.06
Potasio	0.06	0.09	0.07
Sodio	0.02	0.06	0.03
Suma de Cationes (meq/l)	0.51	0.71	0.48
<b>ANIONES (meq/l)</b>			
Nitratos	0.00	0.00	0.00
Carbonatos	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos	0.06	0.00	0.13
Cloruros	0.52	0.71	0.34
Sulfatos	0.03	0.03	0.04
Suma de Aniones (meq/l)	0.55	0.74	0.51
Na (%)	3.92	8.45	6.25
RAS	0.05	0.13	0.07
Sales Solubles Totales (ppm)	25.02	44.22	18.81
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>C1-S1*</b>	<b>C1-S1*</b>	<b>C1-S1*</b>

\* Se trata de muestras de salinidad baja, apta para el riego, en todos los casos. De emplearse siempre el agua de salida en el riego es favorable.

El agua de entrada probablemente contenga ácidos de naturaleza orgánica que hacen que la expresión de pH sea elevado en hidrogeniones, por ello la acidez.

  
Ph.D. MARNLENI CERDA GÓMEZ  
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / (066) 312049 - 966938028 - 966631889  
\*758028; \*751889 / agrolab01@yahoo.es



## Anexo N° 2.2 Resultados de Laboratorio, Análisis físico de Suelo



### MULTISERVICIOS AGROLAB

**INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORIA Y CAPACITACION EN EVALUACION, MUESTREO DE SUELOS,  
INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ANALISIS AGRICOLA, USO, MANEJO,  
CONSERVACION Y RECUPERACION DE SUELOS.

### ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

1350057

SOLICITANTE: Sergio Gómez Portal

PROYECTO:

DEPARTAMENTO: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: Vinchos

FECHA DE INGRESO: 20-11-15

FECHA DE ENTREGA: 07-12-15

Nº Laboratorio	AS 10625-1	AS 10625-2	AS 10625-3
Nº Campo	Nº 04	Nº 07	Nº 15
Densidad aparente (g.cc <sup>-1</sup> )	0.45	0.69	0.38
Densidad real (g.cc <sup>-1</sup> )	1.67	1.72	1.56
Porosidad (%)	69.46	59.88	75.60

  
-----  
Ph.D. MARLENI CERDA GÓMEZ  
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / (066) 312049 - 966938028 - 966631889  
\*758028; \*751889 / agrolab01@yahoo.es

## Anexo N° 2.3 Resultados de Laboratorio, Análisis físico de Suelo porosidad eficaz



### MULTISERVICIOS AGROLAB

**INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORIA Y CAPACITACION EN EVALUACION, MUESTREO DE SUELOS,  
INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ANALISIS AGRICOLA, USO, MANEJO,  
CONSERVACION Y RECUPERACION DE SUELOS.

### ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

1350057

SOLICITANTE: Sergio Gómez Portal

PROYECTO:

DEPARTAMENTO: Ayacucho

PROVINCIA: Huamanga

DISTRITO: Vinchos

FECHA DE INGRESO: 20-11-15

FECHA DE ENTREGA: 07-12-15

Nº Laboratorio	AS 10625-1	AS 10625-2	AS 10625-3
Nº Campo	Nº 04	Nº 07	Nº 15
Densidad aparente (g.cc <sup>-1</sup> )	0.45	0.69	0.38
Densidad real (g.cc <sup>-1</sup> )	1.67	1.72	1.56
Porosidad (%)	69.46	59.88	75.60

Nº Laboratorio**	AS 10625-4
Nº Campo	Cilindro
Volumen de agua adicionada (cc)	250.00
Volumen de agua recepcionada (cc)	126.00
Volumen de agua almacenada en suelo (cc)	124.00
Porcentaje de volumen atrapado en suelo	49.60

\*\* Prueba adicional realizada, con la propuesta del solicitante

  
Ph.D. MARHLEMI CERDA GÓMEZ  
Responsable de Laboratorio

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / (066) 312049 - 966938028 - 966631889  
\*758028; \*751889 / agrolab01@yahoo.es

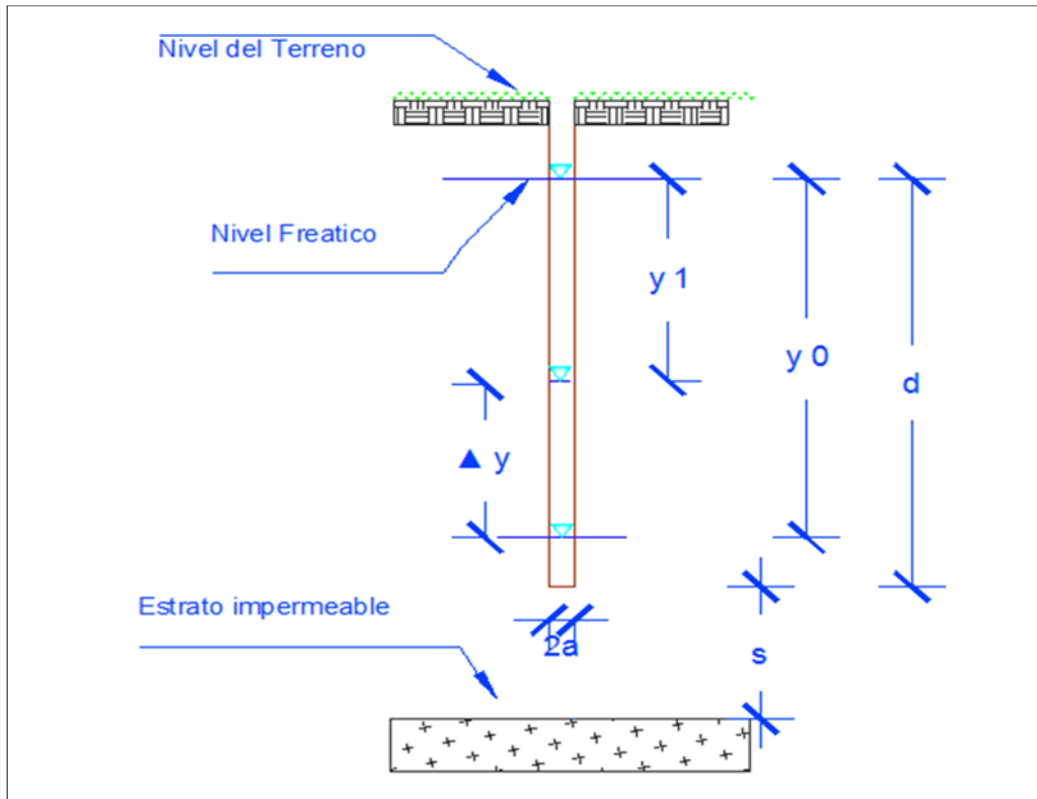
### ANEXO 3.1

#### Cálculo de Conductividad Hidraulica In "situ"

Título "Hidrogeología en bofedales altoandinos con fines de aprovechamiento hídrico en la comunidad Rosapata Vinchos – Ayacucho 2015"

Región : Ayacucho  
Provincia : Huamanga  
Distrito : Vinchos  
Lugar : Rosapata

Por el metodo de Auger Hule



$$k = \frac{2,3 a S}{(2d+a)\Delta t} \log_{10} \frac{y_0}{y_1}$$

$$S = \frac{ad}{0,19}$$

**Aproximacion de Conductividad Hidraulica en "situ" Prueba N° 01**

Descripcion	valor	U.M.
a = Radio de la perforación (m)	0.05	m
d = Distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)	1.25	m
t= Tiempo inicial	10:08	horas
t= Tiempo final	12:15	horas
▲t= variacion de tiempo	7620	segundos
Yo= Distancia desde superficie hasta nivel freático inicial	0.65	m
Yn= Distancia desde superficie hasta nivel freático final	0.53	m
▲Y Variacion nivel freatico	0.120	m
S = constante que depende de a y d .	0.32895	m
K=Conductividad Hidraulica	1.726E-07	m/s
K=Conductividad Hidraulica	0.0149094	m/dia

**Aproximacion de Conductividad Hidraulica en "situ" Prueba N° 02**

Descripcion	valor	U.M.
a = Radio de la perforación (m)	0.05	m
d = Distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)	2.23	m
t= Tiempo inicial	10:57	horas
t= Tiempo final	12:35	horas
▲t= variacion de tiempo	5880	segundos
Yo= Distancia desde superficie hasta nivel freático inicial	1.14	m
Yn= Distancia desde superficie hasta nivel freático final	0.96	m
▲Y Variacion nivel freatico	0.180	m
S = constante que depende de a y d .	0.58684	m
K=Conductividad Hidraulica	1.899E-07	m/s
K=Conductividad Hidraulica	0.0164102	m/dia

**Aproximacion de Conductividad Hidraulica en "situ" Prueba N° 03**

Descripcion	valor	U.M.
a = Radio de la perforación (m)	0.05	m
d = Distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)	1.8	m
t= Tiempo inicial	10:32	horas
t= Tiempo final	13:35	horas
▲t= variacion de tiempo	10980	segundos
Yo= Distancia desde superficie hasta nivel freático inicial	0.28	m
Yn= Distancia desde superficie hasta nivel freático final	0.22	m
▲Y Variacion nivel freatico	0.060	m
S = constante que depende de a y d .	0.47368	m
K=Conductividad Hidraulica	1.424E-07	m/s
K=Conductividad Hidraulica	0.0122998	m/dia

**Determinacion de Conductividad Hidraulica en "situ" Prueba N° 04**

Descripcion	valor	U.M.
a = Radio de la perforación (m)	0.05	m
d = Distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)	1.5	m
t= Tiempo inicial	8:44	horas
t= Tiempo final	10:45	horas
▲t= variacion de tiempo	7260	segundos
Yo= Distancia desde superficie hasta nivel freático inicial	0.52	m
Yn= Distancia desde superficie hasta nivel freático final	0.39	m
▲Y Variacion nivel freatico	0.130	m
S = constante que depende de a y d .	0.39474	m
K=Conductividad Hidraulica	2.561E-07	m/s
K=Conductividad Hidraulica	0.0221299	m/dia

**Determinacion de Conductividad Hidraulica en "situ" Prueba N° 05**

Pz-04 En la segunda capa (arena)

Descripcion	valor	U.M.
a = Radio de la perforación (m)	0.05	m
d = Distancia desde el fondo del pozo hasta el nivel freático (m)	1.5	m
t= Tiempo inicial	9:31	horas
t= Tiempo final	11:16	horas
▲t= variacion de tiempo	6300	segundos
Yo= Distancia desde superficie hasta nivel freático inicial	1.04	m
Yn= Distancia desde superficie hasta nivel freático final	0.885	m
▲Y Variacion nivel freatico	0.155	m
S = constante que depende de a y d .	0.39474	m
K=Conductividad Hidraulica	1.656E-07	m/s
K=Conductividad Hidraulica	0.0143066	m/dia

**ANEXO 3.2**

**CÁLCULO DE CAUDAL "Q" Y TIEMPO DE RESIDENCIA "T"**

**“Hidrogeología en bofedales altoandinos con fines de aprovechamiento hídrico en la comunidad Rosaspata Vinchos – Ayacucho 2015”**

**DATOS**

Conductividad Hidráulica	k=	0.016	m/día
Porosidad efectiva	me=	0.413	
Porosidad	n=	0.683	
Volumen de agua	Vol=	168779.64	m <sup>3</sup>
Volumen del estrato	Vol=	247078.96	m <sup>3</sup>

TRAMO PROG.	LONGITUD INCLINADA (m)	COTA INICIO (m)	COTA FINAL (m)	DIFERENCIA ▲V	GRADIEN TE (i)	CAUDAL UNITARIO (q m/día)	VELOCIDAD AD (m/día)	VELOCIDAD (m/año)	AREA m <sup>2</sup>	CAUDAL (Q m <sup>3</sup> /día)	VOLUMEN DE SUELO SATURADO (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA (m <sup>3</sup> )	TIEMPO DE RESIDENCIA (días)	TIEMPO DE RESIDENCIA (años)	
0	100	100.35	4353.80	4344.00	9.800	0.0977	0.00156	0.00378	1.37959	329.130	0.514	37136.370	25367.854	49327.327	135.14
100	200	100.05	4344.00	4338.30	5.700	0.0570	0.00091	0.00220	0.80482	311.020	0.284	37136.370	25367.854	89478.289	245.15
200	300	100.07	4338.30	4335.90	2.400	0.0240	0.00038	0.00093	0.33880	243.535	0.093	31558.370	21557.523	230680.104	632.00
300	400	100.01	4335.90	4332.22	3.680	0.0368	0.00059	0.00142	0.51981	209.670	0.123	23163.930	15823.281	128184.602	351.19
400	500	100.25	4332.22	4330.60	1.620	0.0162	0.00026	0.00063	0.22828	195.950	0.051	19402.460	13253.820	261604.493	716.72
500	600	100.02	4330.60	4328.50	2.100	0.0210	0.00034	0.00081	0.29660	145.140	0.049	21435.320	14642.467	300313.400	822.78
600	700	100.10	4328.50	4325.50	3.000	0.0300	0.00048	0.00116	0.42338	82.825	0.040	17305.180	11821.168	297640.347	815.45
700	800	100.09	4325.50	4322.63	2.870	0.0287	0.00046	0.00111	0.40507	81.695	0.037	9128.380	6235.596	166368.587	455.80
800	900	100.06	4322.63	4318.75	3.880	0.0388	0.00062	0.00150	0.54779	84.800	0.053	7937.330	5421.990	103055.615	282.34
900	1000	100.08	4318.75	4314.80	3.950	0.0395	0.00063	0.00153	0.55757	70.950	0.045	8691.950	5937.471	132516.710	363.06
1000	1100	100.08	4314.80	4311.61	3.190	0.0319	0.00051	0.00123	0.45028	63.910	0.033	7344.310	5016.898	153922.851	421.71
1100	1200	100.06	4311.61	4306.87	4.740	0.0474	0.00076	0.00183	0.66921	65.225	0.049	6488.820	4432.513	89659.869	245.64
1200	1300	83.06	4306.87	4303.41	3.458	0.0416	0.00067	0.00161	0.58813	34.400	0.023	6396.870	4369.702	190695.446	522.45

**ANEXO N° 4 DATOS METEOROLOGICOS**



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**RED HIDROMETEOROLOGICA**



**REGISTRO DE TEMPERATURAS AMBIENTALES MENSUALES**

**Estación:** : APACHETA **Latitud:** : 13°21'00,48"S **Dpto:** AYACUCHO  
**Código :** : 019 **Longitud:** : 74°38'40,32"O **Prov:** CANGALLO  
**Año :** : 2010 **Altitud:** :4195 msnm **Dist:** PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	7.3	8.3	8.3	7.5	6.8	5.7	6.2	6.0	6.4	7.0	7.5	6.8
2011	5.6	6.7										
<b>MEDIA</b>	<b>7.5</b>	<b>8.3</b>	<b>8.3</b>	<b>7.5</b>	<b>6.8</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.0</b>	<b>7.0</b>	<b>12.6</b>	<b>8.9</b>	<b>7.9</b>



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**RED HIDROMETEOROLOGICA**



**REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MENSUAL**

**Estación:** : APACHETA **Latitud:** : 13°21'00,48"S **Dpto:** AYACUCHO  
**Código :** : 019 **Longitud:** : 74°38'40,32"O **Prov:** CANGALLO  
**Año :** : 2010 **Altitud:** :4195 msnm **Dist:** PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	63.9	60.3	60.5	61.4	66.0	67.9	67.4	68.5	67.4	64.4	61.7	66.9
2011	66.1	69.4										
<b>PROM</b>	<b>88.0</b>	<b>86.8</b>	<b>86.8</b>	<b>87.1</b>	<b>69.3</b>	<b>71.8</b>	<b>69.8</b>	<b>70.7</b>	<b>66.1</b>	<b>61.3</b>	<b>61.2</b>	<b>63.7</b>
<b>Max</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>70.9</b>	<b>73.8</b>	<b>71.0</b>	<b>71.8</b>	<b>67.4</b>	<b>64.4</b>	<b>61.7</b>	<b>66.9</b>
<b>Min</b>	<b>100.0</b>	<b>60.3</b>	<b>60.5</b>	<b>61.4</b>	<b>66.0</b>	<b>67.9</b>	<b>67.4</b>	<b>68.5</b>	<b>65.4</b>	<b>59.8</b>	<b>61.0</b>	<b>62.1</b>



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO**  
**GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA**  
**RED HIDROMETEOROLOGICA**



**REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES**

**Estación:** : APACHETA **Latitud:** : 13°21'00,48"S **Dpto:** AYACUCHO  
**Código :** : 019 **Longitud:** : 74°38'40,32"O **Prov:** CANGALLO  
**Año :** : 2010 **Altitud:** :4195 msnm **Dist:** PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2010	271.2	164.9	123.8	2.8	1.2	0.2	0.0	9.9	42.0	46.1	46.6	173.1	
2011	236.2	293.8											530.0
<b>PROM</b>	<b>163.6</b>	<b>123.6</b>	<b>127.9</b>	<b>52.2</b>	<b>15.7</b>	<b>5.7</b>	<b>6.5</b>	<b>17.0</b>	<b>57.0</b>	<b>55.4</b>	<b>50.2</b>	<b>138.1</b>	<b>809.3</b>
<b>Max</b>	<b>271.2</b>	<b>248.0</b>	<b>227.4</b>	<b>95.0</b>	<b>53.8</b>	<b>20.5</b>	<b>41.4</b>	<b>99.7</b>	<b>112.7</b>	<b>169.2</b>	<b>120.8</b>	<b>209.9</b>	<b>1075.2</b>
<b>Min</b>	<b>78.3</b>	<b>63.4</b>	<b>81.0</b>	<b>2.8</b>	<b>1.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.4</b>	<b>14.0</b>	<b>24.3</b>	<b>17.5</b>	<b>55.5</b>	<b>617.7</b>



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA  
RED HIDROMETEOROLOGICA



REGISTRO DE TEMPERATURAS MINIMAS MENSUALES

Estación: : APACHETA                      Latitud: : 13°21'00,48"S                      Dpto: AYACUCHO  
Codigo : : 019                                      Longitud: : 74°38'40,32"O                      Prov: CANGALLO  
Año : : 2010                                      Altitud: : 4195 msnm                      Dist: PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	0.2	0.4	-0.4	-1.2	-3.0	-4.8	-4.4	-7.0	-5.0	-4.0	-4.0	-4.0
2011	1.4	2.0										
MIN	-2.6	-0.8	-0.8	-2.2	-7.0	-6.0	-8.4	-7.6	-6.2	-4.0	-4.4	-4.0
MEDIA	-0.2	0.2	0.3	-1.1	-3.6	-4.3	-5.6	-5.4	-4.0	-2.8	-2.4	-1.5



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO  
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA  
RED HIDROMETEOROLOGICA

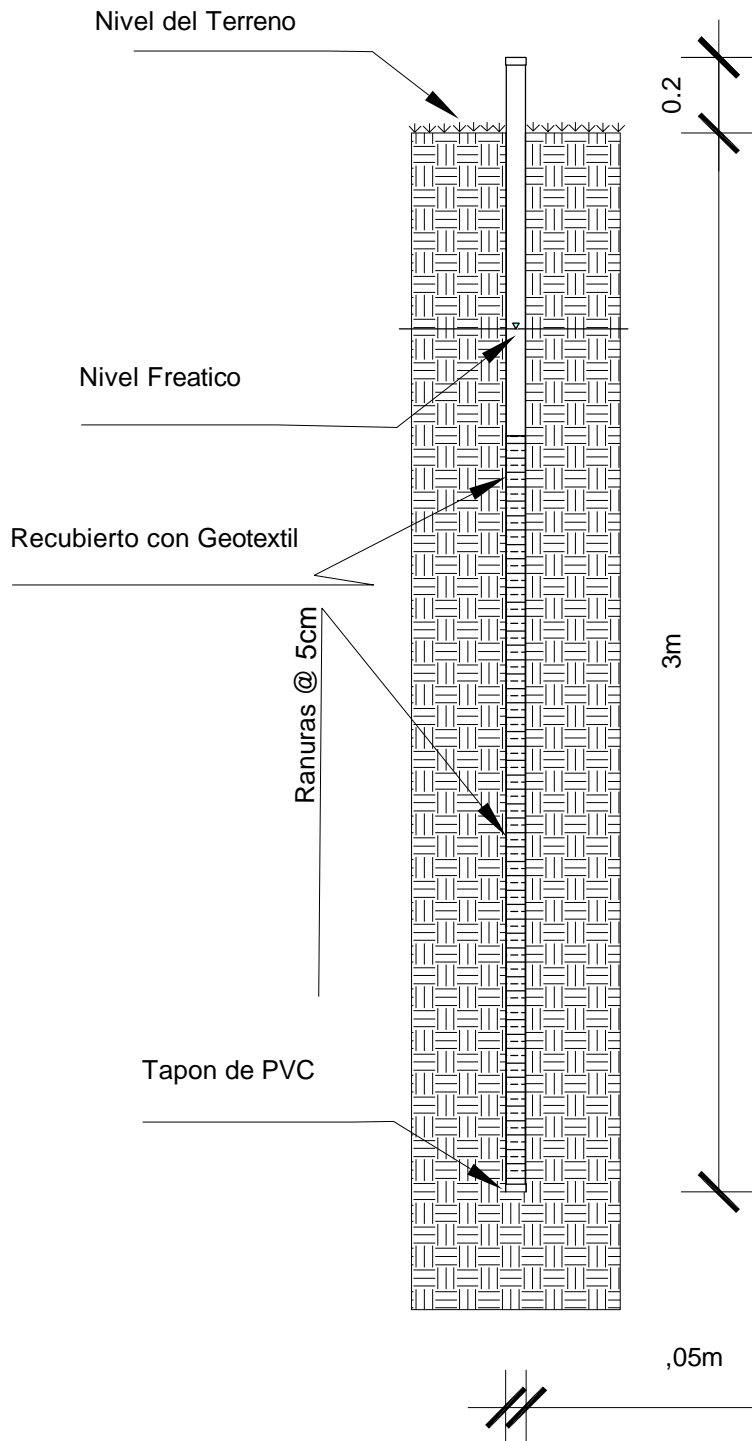


REGISTRO DE TEMPERATURAS MAXIMAS MENSUALES

Estación: : APACHETA                      Latitud: : 13°21'00,48"S                      Dpto: AYACUCHO  
Codigo : : 019                                      Longitud: : 74°38'40,32"O                      Prov: CANGALLO  
Año : : 2010                                      Altitud: : 4195 msnm                      Dist: PARAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	15.0	18.8	16.4	16.2	17.0	15.4	15.6	16.4	18.4	18.4	18.6	16.0
2011												
MAX	18.2	18.8	16.4	16.6	17.4	17.6	19.8	17.6	18.4	20.0	18.6	19.2
MEDIA	15.7	15.1	14.5	14.7	15.4	14.9	14.8	15.7	16.6	17.4	17.3	16.8





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN  
CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



PROYECTO:

Tesis Pregrado

ELABORADO:

Bach. Sergio Gomez Portal

LAMINA N°:

EP-01

PLANO:

Esquema del Piezometro Instalado

ESCALA:

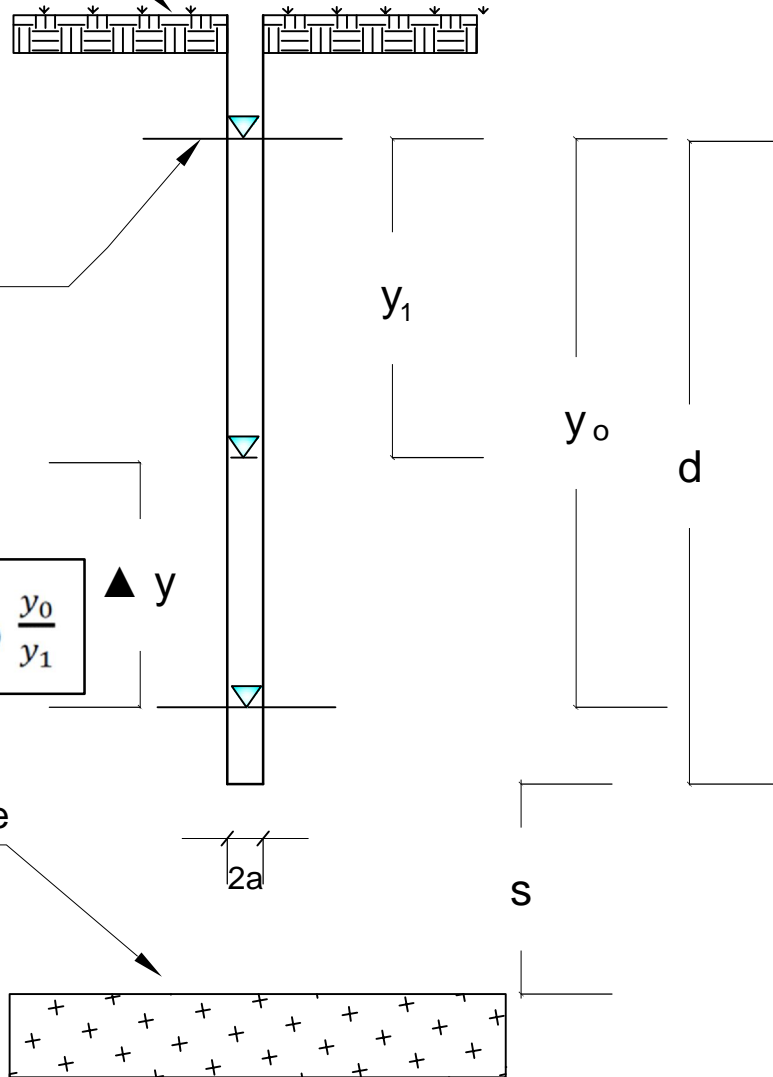
1:20

Nivel del Terreno

Nivel Freatico

$$k = \frac{2,3 a s}{(2d+a)\Delta t} \log_{10} \frac{y_0}{y_1}$$

Estrato impermeable



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN  
CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



PROYECTO:

Tesis Pregrado

ELABORADO:

Bach. Sergio Gomez Portal

LAMINA N°:

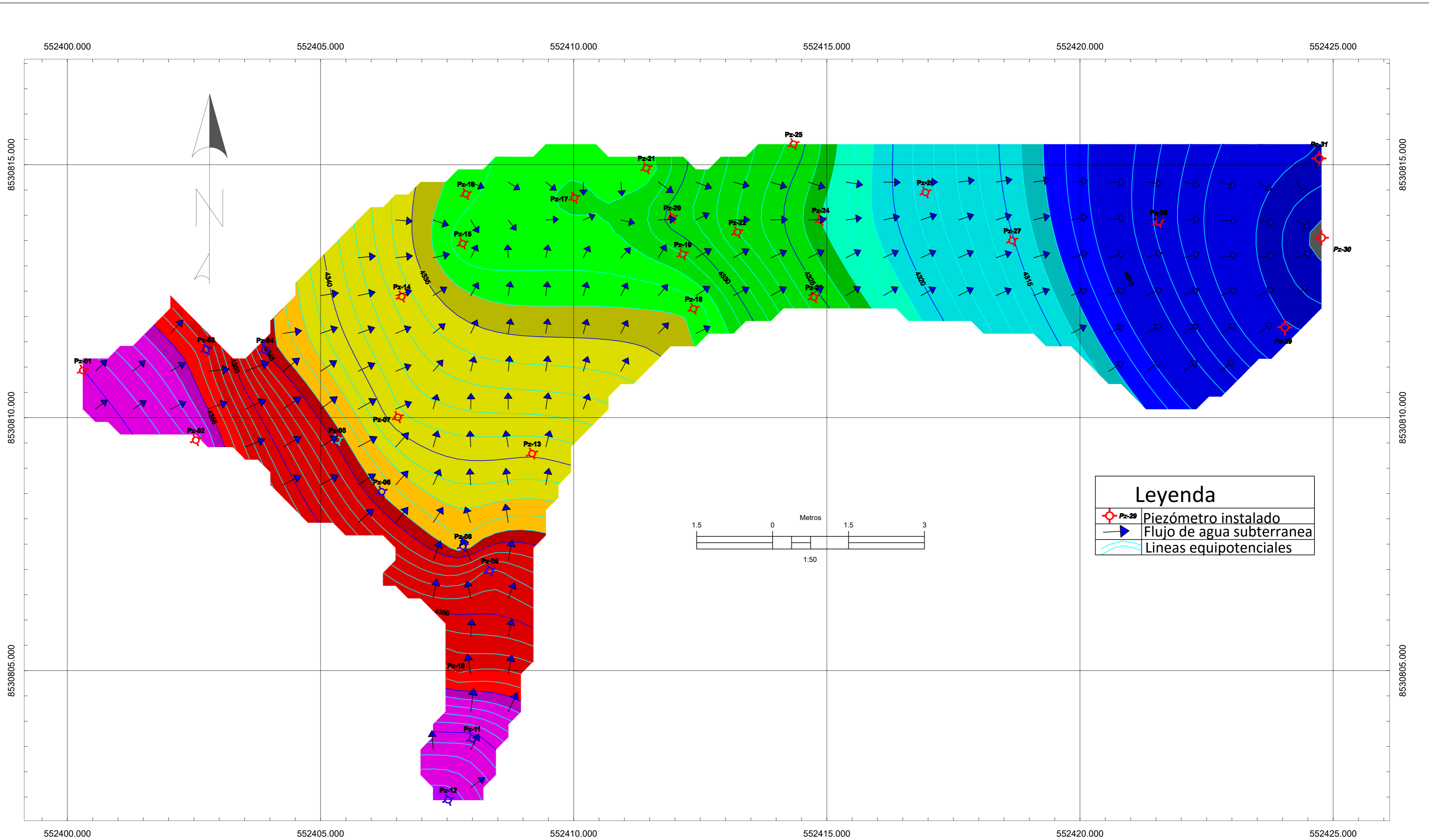
EG-02

PLANO:



Esquema y Geometria de Pozo Perforado para la  
Prueba de Conductividad Hidraulica

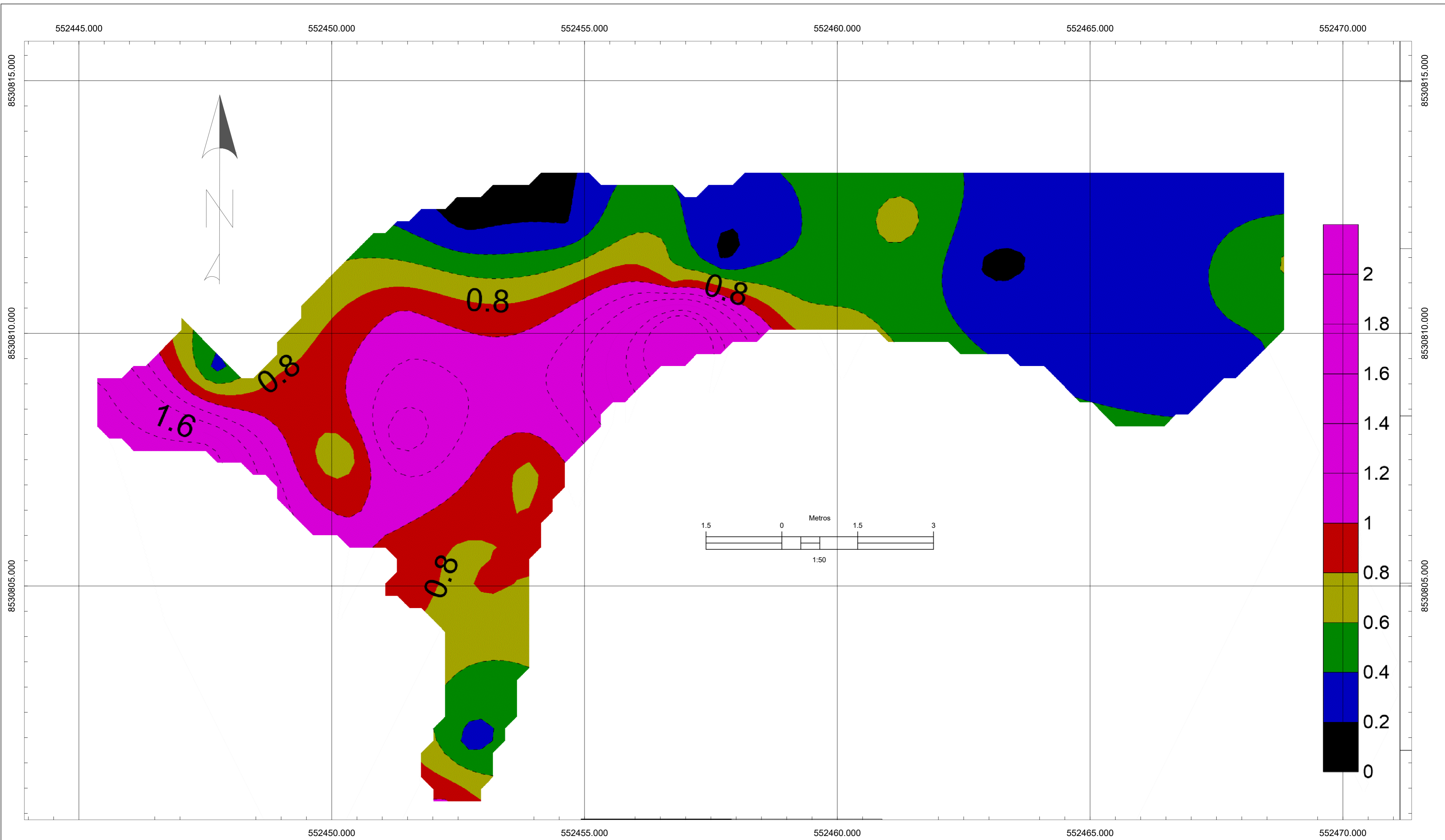
ESCALA:



1:10

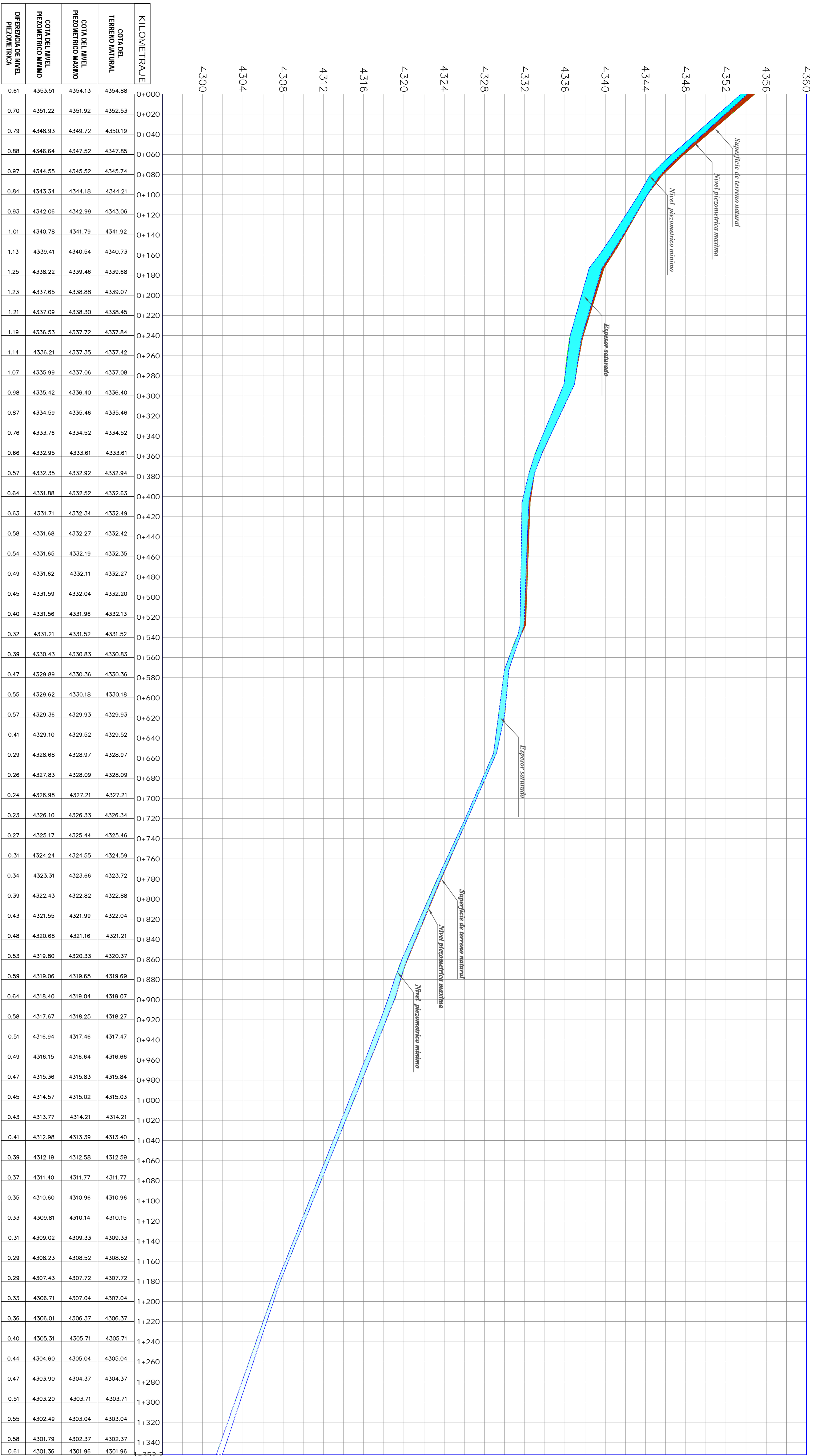


Leyenda	
	Piezómetro instalado
	Flujo de agua subterránea
	Lineas equipotenciales

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b> 		
PROYECTO: Tesis Pregrado	ELABORADO: Bach. Sergio Gomez Portal	LAMINA N°: <b>PT-03</b>
PLANO: Ubicacion de Piezómetros, Flujo de Agua y Hidroisohipsas	ESCALA: INDICADA	

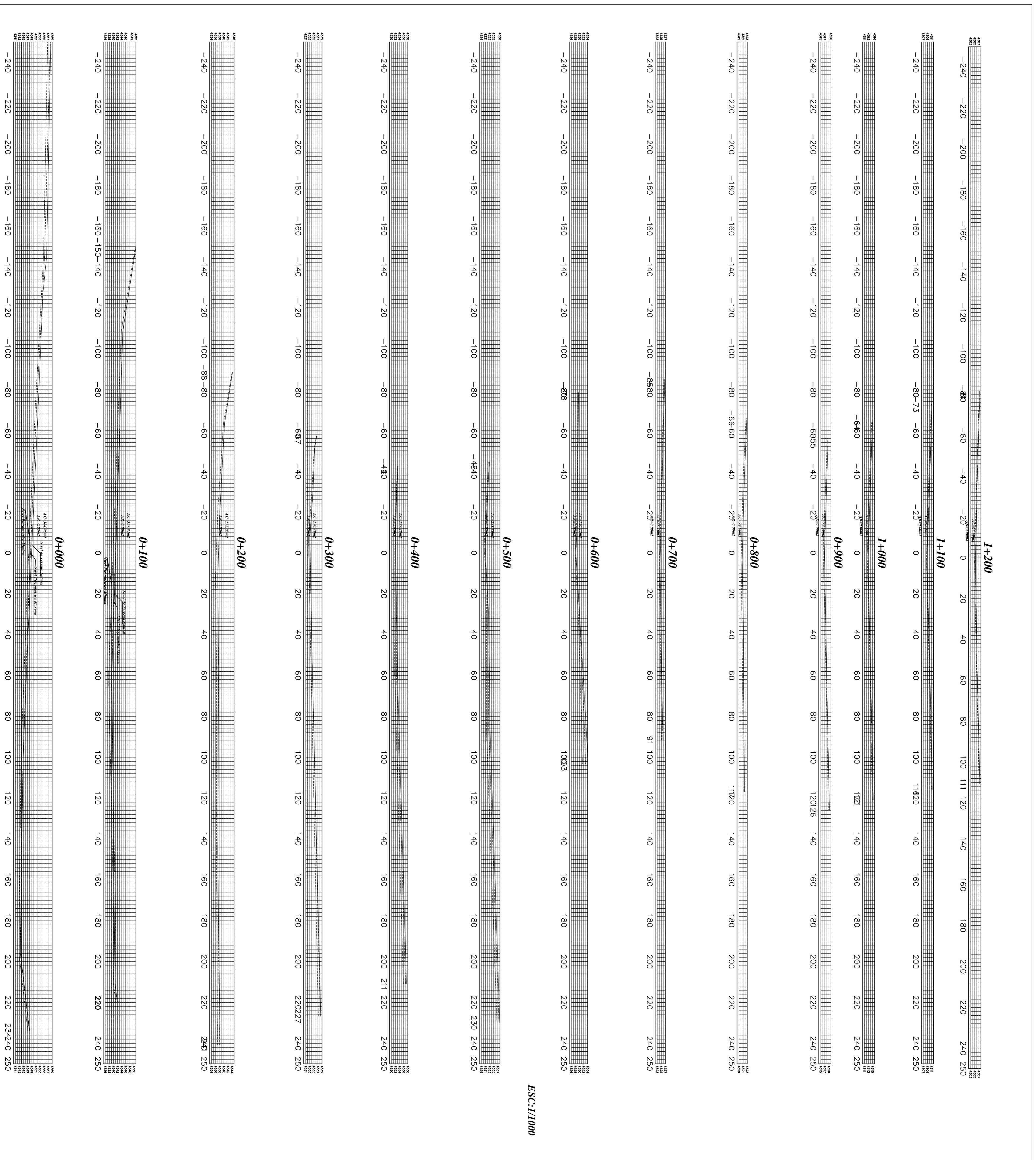


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b> 		
PROYECTO: Tesis Pregrado	ELABORADO: Bach. Sergio Gomez Portal	LAMINA N°: <b>PT-04</b>
PLANO: Isoprofundidades	ESCALA: INDICADA	

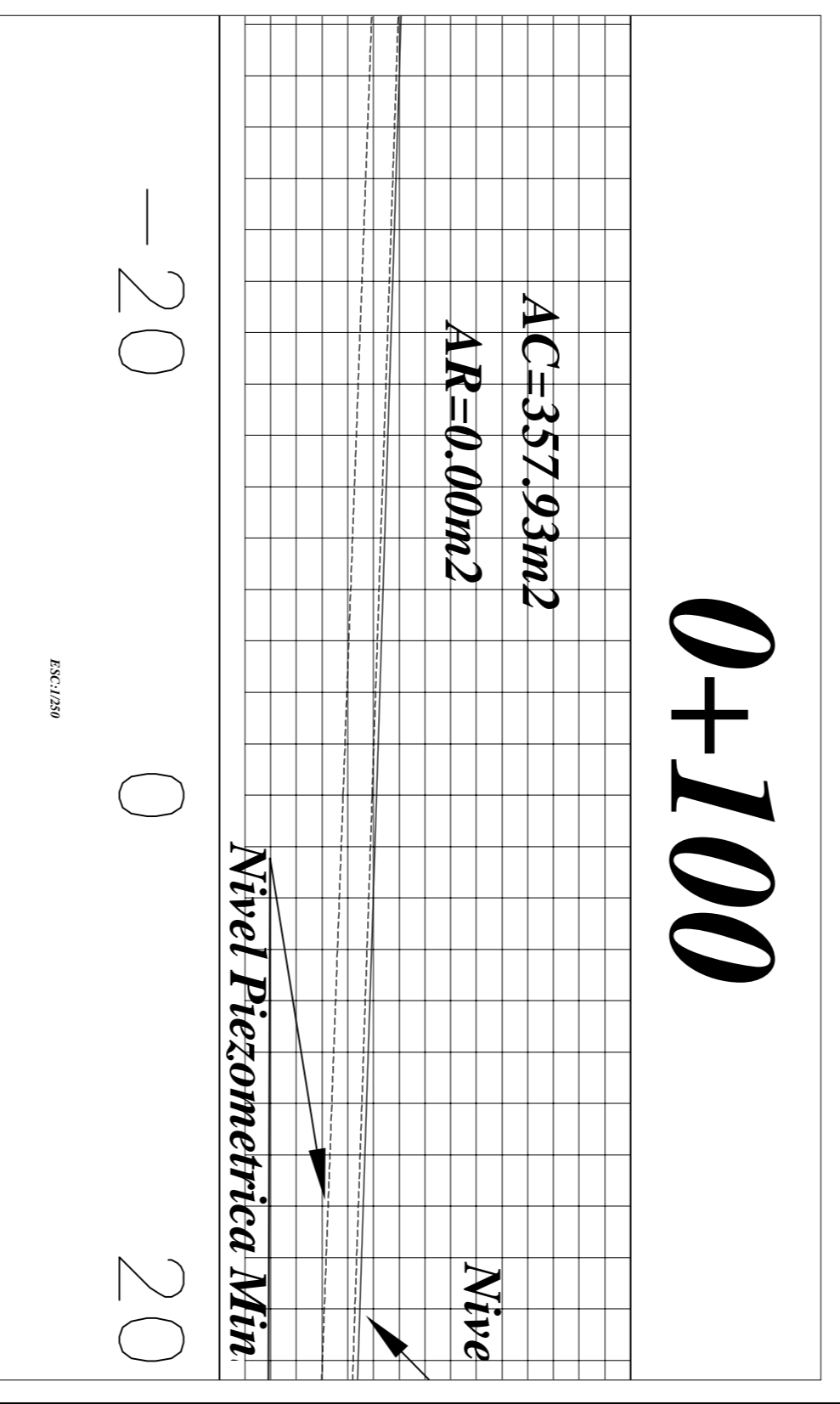
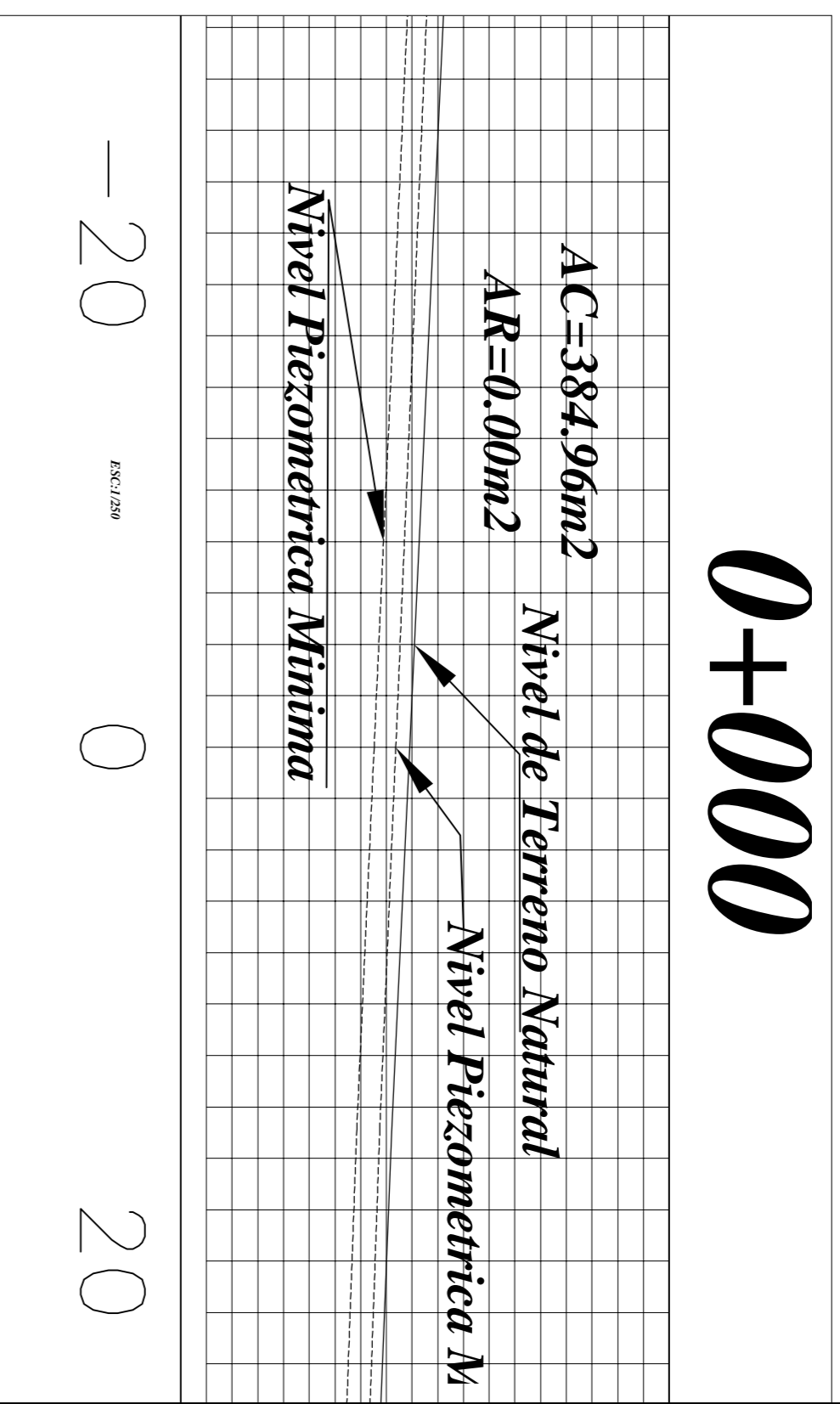




PERFIL LONGITUDINAL  
 ESCALA  
 H:2000  
 V:200

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	
	ELABORADO: Bach. Sergio Gomez Poma ESCALA: INDICADA	
PROYECTO: Tesis Pregrado Perfil Longitudinal del Ibdadil	ELABORADO: Bach. Sergio Gomez Poma ESCALA: INDICADA	LÍNEA Nº: <b>TP-05</b>



ESC:1/1000



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</p>		 <p>INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO DE PERÚ</p>	
PROYECTO:	Tesis Práctico	ELABORADO:	Basil Sergio Gomez Bonif
PLANO:	Área de Secciones Transversales	ESCALA:	INDICADA
		LIBRANC:	TP-05