

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE UN POZO
PARA INSTALACIÓN DE PIEZOMETRO CASA
GRANDE MEDIANTE PERFORACIÓN RC EN U.M.
SHAHUINDO 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Erick Johan Altamirano Guzman

Hugo Martinez Lecca

Asesor:

Mg. Ing. Wilder Chuquiruna Chavez

<https://orcid.org/0000-0002-5321-100X>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ing. Ronald Smith Mayta Rodas	42319154
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. Ronald Antonio Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. Eduardo Manuel Noriega Vidal	43236142
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

TESIS 2

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

A mis padres Joselito Altamirano y Rocio Guzmán por incentivarne a mejorar cada día y ser el soporte principal de mis logros.

A Bryam Altamirano por brindarme su apoyo incondicional en muchos pasajes de mi vida.

A Justo Altamirano por inculcarme los principales valores para ser una mejor persona y buen profesional.

Erick Johan Altamirano Guzmán.

A mis padres por apoyarme siempre, guiándome en este camino, confiando en mi en todo momento.

A mis hermanos por enseñarme a nunca rendirme.

Mi familia es el principal motor para superarme cada día y ser el mejor.

Hugo Martínez Lecca.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirnos gozar de buena salud y darnos la oportunidad de seguir
creciendo profesionalmente.

Al ingeniero Wilder Chuquiruna Chavez por brindarnos su apoyo y orientaciones
en este proceso.

A la colectividad docente de la Universidad Privada del Norte.

Tabla de contenido

Jurado calificador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Tabla de contenido.....	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	10
Capítulo I: Introducción	11
Capítulo II: Metodología	46
Capítulo III: Resultados.....	51
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	61
Referencias	64
Anexos	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de porosidad en función del material	27
Tabla 2: Valores de conductividad hidráulica K	29
Tabla 3: Selección del método de perforación para captaciones hidrogeológicas ..	32
Tabla 4: Matriz de validación de expertos.....	48
Tabla 5: Sondajes realizados mediante perforación aire reverso.....	52
Tabla 6: Pruebas airlift en el sondaje P-10	53
Tabla 7: Pruebas airlift en el sondaje PROP-04	54
Tabla 8: Pruebas airlift en el sondaje PZ-02.....	55
Tabla 9: Pruebas airlift en el sondaje PZ-06.....	56
Tabla 10: Prueba airlift en el sondaje PROP-03	57
Tabla 11: Control de recuperación en el sondaje PZ-06.....	59
Tabla 12: Detalle de los 8 sondajes.	62
Tabla 13: Matriz de consistencia	72
Tabla 14: Operacionalización de las variables	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona saturada y zona no saturada	21
Figura 2: Distribución vertical del agua subterránea	23
Figura 3: Sistema de un acuífero libre	25
Figura 4: Sistema de un acuífero confinado	25
Figura 5: Sistema de un acuífero semiconfinado.....	26
Figura 6: Coeficiente de almacenamiento	30
Figura 7: Cono de abatimiento	32
Figura 8: Esquema de sondaje de aire reverso con cabezal de tricono.....	35
Figura 9: Diseño de pozos en función del terreno	36
Figura 10: Tubería para revestimiento de pozo	37
Figura 11: Filtro de ranura continua en acero inoxidable.....	38
Figura 12: Pozo sin cementar	38
Figura 13: Terminación de un pozo de agua en superficie	39
Figura 14: Medición de nivel freático y profundidad del pozo	40
Figura 15: Prueba de caudal o aforo	41
Figura 16: Funcionamiento de sistema AirLift.....	42
Figura 17: Diseño ideal para piezómetro tipo casa grande.....	44
Figura 18: Mapa de distribución de los 8 sondajes.....	51
Figura 19: Diagrama del caudal promedio de sondajes.....	58
Figura 20: Diagrama de rendimiento del sondaje PZ-06.....	58
Figura 21: Recuperación en el sondaje PZ-06.....	60
Figura 22: Matriz para evaluación de expertos.....	69
Figura 23: Matriz de evaluación de expertos 2.....	70
Figura 24: Matriz de evaluación de expertos 3.....	71

Figura 25: Pruebas airlif en sondaje P-10.....	76
Figura 26: Pruebas airlift en el sondaje PROP-04.....	77
Figura 27: Pruebas airlift en el sondaje PZ-02	78
Figura 28: Pruebas airlift en el sondaje PZ-06	79
Figura 29: Pruebas airlift en el sondaje PROP-03	80
Figura 30: Muestras húmedas de roca triturada.....	81
Figura 31: Esquema de instalación de piezómetro.	82
Figura 32: Acta de conformidad de piezómetro PZ-06	83
Figura 33: Detalle de habilitación del piezómetro PZ-06.....	84
Figura 34: Protocolo de calidad de perforación del piezómetro PZ-06.....	85

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en la U.M. Shahuindo 2022. Este trabajo es de tipo aplicada, diseño experimental, enfoque cuantitativo y profundidad descriptivo.

En la investigación se aplicó la técnica de observación y análisis documental de los reportes de perforación, pruebas airlift y pruebas de recuperación de nivel de agua para posteriormente analizar y sistematizar los datos obtenidos mediante Microsoft Excel y ser expresados a través tablas y gráficos.

Se realizó una campaña de perforación de aire reverso en 08 puntos diferentes con el fin de determinar la existencia de agua subterránea y sus niveles de profundidad, en la cual se halló agua solo en 05 perforaciones. De lo anterior, se realizó pruebas de caudal y recuperación de agua para determinar que sondaje presenta el mayor volumen de agua.

Se concluyó que, el sondaje PZ-06 es el ideal para la instalación del piezómetro casa grande el cual presentó un caudal promedio de 6.46 l/s y una recuperación de agua 3.96 metros en 70 minutos, así mismo presentó agua desde los 12 metros de profundidad. Dicho piezómetro formará parte de una red de monitoreo.

PALABRAS CLAVES: Caudal, piezómetro, agua subterránea, pozo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Durante la productividad de una mina el agua influye en cada etapa. Partiendo de esa premisa, las actividades mineras se encuentran probablemente muy relacionadas al agua, ya sea cómo un problema a evitar antes de la explotación o como una necesidad de uso para garantizar la sostenibilidad de cada una de sus operaciones a partir de ello se realiza labores de investigación hidrogeológica para captación de agua subterránea.

La mina del caso de estudio planifica profundizar y expandir sus operaciones de productividad en el tajo abierto, para lo cual se realizará perforaciones de aire reverso con el fin de obtener información acerca de los niveles de agua subterránea presentes en el área que abarca la mina. Cabe mencionar que el agua presenta una amenaza de inundación para la mina pudiendo ocasionar pérdidas humanas y materiales, así mismo, puede generar un aumento de los costos ya sea en las actividades de voladura o en las actividades de sostenimiento.

Por lo anterior, en la unidad minera Shahuindo se realizará 08 perforaciones de aire reverso para determinar cuál de ellos presenta el mayor volumen de agua (caudal) para instalar un piezómetro tipo casa grande. Dicho piezómetro formara parte de una red de monitoreo respecto a las variaciones de nivel de agua subterránea con el objetivo de obtener información que sirva para un adecuado drenaje de este y permita continuar con las actividades de producción de forma segura y respetando el medio ambiente.

El correcto monitoreo del agua subterránea y sus niveles de profundidad permite tener en cuenta los posibles impactos ambientales producidos a partir del drenaje, por lo tanto, se puede formular las correspondientes medidas de control y mitigación.

Para sustentar la presente investigación de manera documental se realizó una búsqueda de estudios previos (internacional y nacional), los cuales presentaron relación con las variables de estudio, por ello presentamos los siguientes:

Arévalo (2017) en su tesis realizada en Ecuador "Propuesta de diseño de construcción, acondicionamiento de un pozo de agua y su incidencia en la vulnerabilidad del acuífero costero en manglar alto". Tiene como objetivo analizar los niveles de agua en el pozo, trabajos geofísicos y revisión de la información hidrogeológica existente para la configuración de un mapa de vulnerabilidad de la zona a través del método GOD y a partir de ello elaborar una propuesta de diseño, construcción y acondicionamiento de un pozo de agua, que brinde respuestas a la crisis hídrica. La metodología del presente estudio fue de carácter experimental cuantitativo, ya que se obtuvo información a partir de los reportes diarios de perforación. Mediante el método GOD se analizó la vulnerabilidad del pozo y a partir de la información geográfica obtenida se elaboró el mapa de vulnerabilidad del acuífero. El resultado de rango de vulnerabilidad fue de media a extrema, siendo los valores más altos los que están sobre el cauce del río y su margen derecha. Finalmente, se procedió a la construcción y acondicionamiento del pozo #11 en el cual se obtuvo un caudal de 7 l/s.

Ibañez & Sandoval (2015) en su tesis desarrollada en Colombia "Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio la mojona". El objetivo general fue diseñar el sistema de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana. Posee una metodología descriptiva con la finalidad de que sirva para posteriores estudios para el acceso de agua potable en la región. A partir de los estudios de geología e hidrogeología realizados en el acuífero se pudo desarrollar un diseño preliminar de sondaje para la captación de agua, con una profundidad de 70m, un diámetro de 10 pulgadas y un entubado en 6 pulgadas. Se concluyó que, el agua se encuentra a poca profundidad, de modo

que se carga por medio del agua superficial de los ríos y lagos, con probabilidades de mantener un caudal constante en épocas secas, por lo anterior se requiere inversiones pequeñas ya que son fáciles de explotar.

Perez (2013) en su investigación realizada en Bolivia titulada "Determinación de áreas favorables para la perforación de pozos de agua, mediante la aplicación de estudios hidrogeológicos integrales, Santiago de huari – Oruro". Se proyectó como objetivo ubicar áreas favorables para la perforación de pozos de agua mediante la aplicación de estudios hidrogeológicos integrales en la Población Santiago de Huari–Departamento de Oruro. El estudio presenta un diseño experimental con enfoque cuantitativo ya que está enfocado a contribuir con información de las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas presentes en el área. Se concluyó que la zona es de origen fluvial y presenta una granulometría relativamente gruesa y geoforma, en lo cual se pudo verificar mediante la perforación de 3 sondajes los mismos que presentaron caudales mayores a 5 l/s.

Solís (2014) en su estudio realizado en Ecuador sobre el "Aprovechamiento de las fuentes de agua subterránea en la zona norte del cantón Balzar guayas – Ecuador". Se consideró el objetivo de estudiar la cantidad y calidad del agua subterránea en la zona norte del cantón Balzar de la provincia del Guayas, para establecer, con prioridad, su potencial de riego y consumo humano, a fin de producir cosechas todo el año, incrementar áreas de cultivo y mejorar la calidad de vida de los pobladores. El tipo de investigación fue aplicativo experimental pues se realizó una comparación de cantidad y calidad de agua que poseen los pozos profundos para captación de agua subterránea mediante muestras de agua. Como resultado del estudio se diagnosticó que la zona del Cantón Balzar Guayas posee un promedio de caudal 16.68 l/s, así mismo el agua cuenta con buena calidad y se encuentra apta para las actividades diarias de la población. Se concluyó que, para conocer las

cualidades de un pozo y cantidad de agua que aporta el acuífero en producción solo basta con determinar el aforo de este, ya sea mediante pruebas airlift u otro método.

Llano (2015) en su tesis realizada en Ecuador titulada "Evaluación de la explotación del caudal de agua subterránea en pozos someros y profundos en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Periodo 2013-2014". El objetivo general fue evaluar la explotación del caudal de agua subterránea, para la elaboración del mapeo de ubicación de los en pozos someros y profundos en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2013-2014. El diseño que se implemento fue experimental cuantitativo, ya que se tomó datos aleatorios de 35 pozos, como técnica de investigación se tuvo el fichaje, observación, análisis de documentos y muestreo. Se concluyo que, el caudal comercializado para explotar es de 3.641.147 m³/anuales, y de acuerdo con las muestras obtenidas en la investigación de campo el caudal extraído es de 1.015.722 m³/anuales que comparando con el 100% del caudal comercializado dicha cantidad representa solo el 28%, esto se debe a que los accionistas en la actualidad se encuentran extrayendo un caudal inferior a lo dispuesto por la secretaria del agua.

Oblitas (2019) en su tesis "Propuesta de diseño de pozo tubular aplicando la técnica de testificación geofísica realizando sondeo eléctrico para incrementar la disponibilidad hídrica en el sector de Otopongo – barranca – Lima – Perú". Su objetivo principal fue presentar la propuesta del diseño de un pozo tubular mediante la realización de la testificación geofísica para identificar zonas de perforación incrementando la disponibilidad hídrica en el sector de Otopongo – Barranca. La investigación es de tipo proyectiva aplicada ya que los datos obtenidos se recolectaron mediante trabajos de campo y gabinete, el enfoque es cuantitativo porque se utilizó secuencias de diseño. Como resultados se proyectó un pozo tubular con una profundidad de 70 m, un diámetro interno de perforación de 18 pulgadas y

se equipó mediante una bomba sumergible con una potencia de 10 HP. Se concluyó que, los horizontes que componen los estratos del subsuelo influyen en el desarrollo de un diseño de pozo tubular, además conociendo información relacionada a la zona se puede definir la profundidad máxima de la perforación y método de perforación. En la prueba de bombeo se determinó un caudal promedio de 30 L/s para un diámetro de 12 pulgadas, siempre y cuando el diámetro de entubación sea mínimo.

Marchán (2020) en su tesis "Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua mediante pozo de reemplazo – irhs-5- illescas 07 en el sector Illesca, distrito y provincia Sechura, Piura – 2019". Tuvo el objetivo de mejorar el sistema de abastecimiento de agua mediante pozo de reemplazo. La investigación posee una finalidad aplicada con enfoque cualitativo debido a que es un procedimiento transigente que pretende describir la evolución implicada en la ejecución de un proyecto y no intenta evaluar ningún cambio en las variables. Se obtuvo un caudal de 21 l/s y volumen 221,356.8 m³ /año, así como resultados de transmisividad (1373.76 m² /día), permeabilidad de (43.2 m/día) y coeficiente de almacenamiento (1.3%) estos valores proporcionaron conocimientos de las características geo eléctricas, por ello se determinó que en el horizonte existe la presencia de sedimentos ligeramente permeables, además dentro del agua se encontró algunos cationes y aniones, pero no afecta en su composición, lo cual significa que se encuentra apta para uso doméstico, el acuífero presenta aceptables características hidrogeológicas.

Cisneros (2019) en su tesis "Investigación geotécnica e instrumentación para el diseño de construcción e instalación de piezómetros y pozos de drenaje en la mina Pierina año 2019". Planteó el objetivo de realizar la investigación geotécnica e instrumentación para el diseño de construcción e instalación de piezómetros y pozos de drenaje en la mina Pierina durante el año 2019. El diseño de la investigación es de tipo no experimental y descriptiva

ya que mediante el análisis de la información se pudo describir las variaciones de nivel presentes en la fase de monitoreo, también tiene un diseño de corte longitudinal y retrospectivo, porque las mediciones fueron realizadas durante el transcurso de un año. Mediante el modelo hidrogeológico se precisó que, el flujo de las aguas subterráneas va en sentido de oeste a este y gradiente promedio de 15%, además en las zonas sur, sureste y oeste se recargan en tiempo de lluvia. Se determinó que, el caudal varía entre 1 l/min y 160 l/min, la presencia de agua puede cambiar el esfuerzo efectivo de las paredes del tajo esto reducirá los parámetros de resistencia del macizo rocos creando condiciones de saturación.

Díaz (2015) en su tesis titulada "Modelamiento hidrogeológico para estimar el caudal óptimo de la parte baja del acuífero del valle del río Lurín". Tuvo el objetivo de diagnosticar diversas posibilidades de extracción con el fin de estimar la cantidad adecuada de aprovechamiento del agua subterránea, para eludir la decadencia del manto freático. La investigación es de diseño experimental y finalidad aplicada con un enfoque cuantitativo de modo que aportará información que servirá para futuros estudios y se tomaran datos en un determinado tiempo para verificar su comportamiento. Se determinó una permeabilidad de 25 m/día y el coeficiente de almacenamiento se encuentra por el orden del 8%, así mismo, el área está conformado por cantos rodados, arena gruesa, finos y gravas, el cual se encuentra dentro de la clasificación como un acuífero libre. Se concluye que, el caudal óptimo de extracción es de 46516.32 m³/día, semejante a un caudal momentáneo de 0.53 m³/seg, de esta manera no producir un descenso acelerador y degradar la vida útil para su aprovechamiento.

Alvarado (2022) en su tesis titulada "Investigación hidrogeológica para la obtención del caudal óptimo de explotación en el acuífero fortaleza". Se planteó como objetivo principal determinar el funcionamiento del acuífero para obtener el caudal óptimo de

explotación (reservas renovables) que sea sostenible con el tiempo a partir de una investigación hidrogeológica. El diseño que se empleo fue experimental para el análisis de resultados se tuvo en cuenta el enfoque cuantitativo y cualitativo. A partir del balance hídrico se definió que el acuífero se encuentra en una fase de sobre explotación, pero aún existe un caudal considerable de agua, actualmente se puede extraer proporcionalmente, un volumen anual de 1,13 m³/h (MMC). El balance de masas, ejecutado con el software Modflow, precisó que aún existe una reserva de agua que puede ser aprovechada de 44 L/s al año, sumado a lo extraído hasta la actualidad con la cantidad de 203.07 l/s, se calcular que el caudal óptimo de explotación es de 247,49 l/s.

Ortega & Delgado (2021) en su estudio titulado "Evaluación hidrogeológica para captación de aguas subterráneas mediante perforación de pozo tubular en la A.P.V. nuevo amanecer-comunidad campesina y Yanama Ayllomayo distrito Zurite - provincia Anta - región Cusco". Se planteo el objetivo de evaluar las características hidrogeológicas de las fuentes de agua subterránea potencialmente explotables para la captación mediante perforación de pozo tubular en la A.P.V. Nuevo Amanecer con el fin de satisfacer la necesidad de agua para consumo humano y riego de la población, tomando en consideración la ubicación de las mejores áreas hidrogeológicas del sector. El trabajo de investigación es de carácter descriptivo y de profundidad explicativo, ya que permite describir y analizar ordenadamente los hechos con respecto al comportamiento hidrogeológico de las estructuras geológicas. Se empleó como instrumento el multiparámetro, así como análisis de laboratorios fisicoquímicos. El resultado de la investigación arrojó un caudal explotable de 3.5 l/s. para un nivel dinámico de 9.18 m. aproximadamente. Se concluyó que, el material de areniscas fracturadas facilita el flujo uniforme en todo el espesor del acuífero debido a su comportamiento homogéneo.

Sebastian (2022) en su tesis "Influencia del método de perforación y estructura de pozos tubulares durante prueba de aforo del agua, Carapongo, Lurigancho, Lima – 2021". Se planteó por objetivo determinar la influencia del proceso de perforación y la estructura del pozo durante la producción de agua en la prueba de bombeo, identificando los estratos litológicos, permeabilidad del suelo y análisis de los descensos durante los aforos a caudal constante y variable. La investigación del estudio es de tipo aplicada ya que será un gran aporte de información para futuros estudios sobre el tema relacionado, el diseño de la investigación es transeccional y descriptivo pues los datos no serán modificados y recolectados en un momento único lo que nos permitirá cumplir los objetivos planteados. Se obtuvo como resultado que el sistema de percusión y las estructuras geográficas influyen en la pérdida de carga, pero no de manera inmediata en las propiedades hidrogeológicas del suelo, esto se refleja en la eficiencia de los pozos aumentando su caudal. Se concluye que, la restricción de la estructura de filtros y un incorrecto progreso del pozo producen pérdidas de carga considerable que reducen el aprovechamiento, sin importar que el pozo presente buenas características de transmisibilidad.

Gallupe (2018) en su tesis "Consideraciones técnicas que influyen en la construcción de pozos de agua y piezómetros en la minera Barrick Misquichilca SAC. 2014". Tuvo como principal objetivo determinar los principales parámetros técnicos aplicados en la construcción de pozos de agua y piezómetros en la Minera Barrick Misquichilca SAC, Unidad Minera Pierina. La metodología empleada para esta tesis fue descriptiva, explicativa y analítica para ello se tomó datos aleatorios de las perforaciones diarias que nos conllevaran a un mejor análisis en la producción del agua y la instalación, para determinar los parámetros. Como resultado de la investigación se determinó los parámetros técnicos que influyen en la construcción de un pozo de agua son: correspondencia entre el diámetro del taladro y

diámetro interno del pozo, verticalidad y alineamiento del taladro, método de perforación. Para la perforación de pozos y piezómetros el método adecuado es la de perforación con aire reverso (RC). En esta perforación se determinó un caudal mínimo de 68.6 GPM a 66 m de profundidad y un caudal máximo de 285.6 GPM a una profundidad 207 m.

Chirme (2020) en su tesis "Estimación de parámetros hidráulicos mediante ensayos de recuperación de air-lift en taladros de exploración aplicado en la mina Antapaccay". Se trazó el objetivo de estimar parámetros hidráulicos de transmisividad y conductividad hidráulica del medio subterráneo mediante ensayos de recuperación de Air lift, de modo que permita conocer el comportamiento de las rocas y agua subterránea e identificar las zonas productoras. El tipo de investigación es aplicada, descriptiva correlacional debido que los datos obtenidos buscan conocer y modificar una realidad problemática. En la zona conformada por monzonita se determinó que son poco permeables en las zonas de contacto, a medida que se profundiza exista la posibilidad de reducir su permeabilidad, para esta unidad se estimó una transmisividad de 3.63 m²/día y una conductividad hidráulica de 2.08 x10⁻⁷ cm/s, en la zona carbonatada se obtuvo una transmisividad de 15.83 m² /día, de calificación estimada como baja, y una conductividad hidráulica 6.99 x10⁻⁷m/s, algo permeable, que tienen similitud a los valores obtenidos con metodología distinta de K=1.0 x10⁻⁶ m/s finalmente para el terreno conformado por diorita se obtuvo una transmisividad de 5.77 m² /día, de calificación estimada como muy baja y una conductividad hidráulica de 3.46x10⁻⁷ m/s, poco permeable, que tienen similitud a los valores obtenidos con metodología distinta de K=1.9 x10⁻⁸ m/s. Así mismo se identificó que, los niveles freáticos bajos se presentan en los taladros P18-01(17.0m) y P18-02B (54m), medidos por debajo del nivel del terreno.

CICLO HIDROLÓGICO

Es un conjunto de procesos dinámicos e infinitos que tienen un vínculo entre sí, se afronta con la ebullición del agua salada del mar, en esta etapa el calor del sol es indispensable para poder dividir la conexión de moléculas de agua. Se denomina evaporación a este proceso (líquido a gas). En seguida de este proceso comienza la condensación lo que significa que el aire alcanza su humedad máxima del 100% (punto de saturación), en esta fase se crean las nubes gracias a que el vapor se convierte otra vez en agua líquida. Dependiendo a la temperatura y presión a la que son sometidas las nubes pueden ocasionar precipitaciones, lluvias o en ciertas ocasiones nieve. Este proceso da origen al agua superficial acumulándose en ríos o lagos, para luego mediante filtración acumularse en acuíferos (Pulido, 2007).

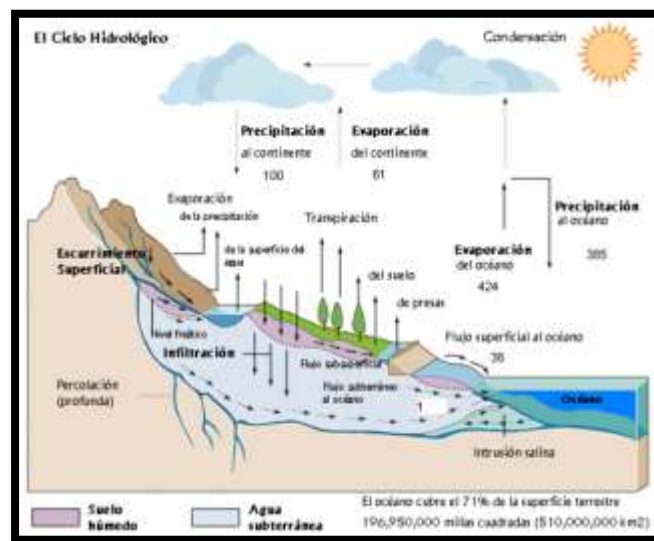


Figura: Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: Chow, 1994.

(Chereque, 1989) precisa que el ciclo hidrológico se basa en la metamorfosis a la que es sometida el agua en cualquiera de sus estados por la misma naturaleza, y que puede ser tanto en forma superficial como subterránea. Además, este ciclo no tiene fin.

AGUA SUBTERRANEA

Se habla del agua que se almacena en las cavidades rocosas y circula por los poros o fracturas, originando los acuíferos. La principal fuente de alimentación es el agua de lluvia, pero también puede ser por los ríos, lagos o lagunas, para poder suministrar agua a los acuíferos solo es posible mediante la filtración. El nivel freático se sitúa por encima del agua subterránea, dicho recurso satura completamente las fisuras del suelo y los poros de las rocas. Dentro del suelo el agua ya no regresa siempre se mueve en contra del lugar de ingreso con una velocidad de $m^3/año$ en zonas calidas a cientos de $m^3/día$ en zonas lluviosas llegando a depositar grandes cantidades de agua dentro los acuíferos, es posible que un acuífero sea el responsable de abastecer a los ríos, lagos o lagunas (Collazo & Montaña, 2012).

Según Ordoñez (2011) el agua subterránea fluye atravesando las rocas saturadas con abundantes poros a distintas profundidades dependiendo de la longitud de la zona saturada o fracturada y existe la posibilidad que el agua fluya nuevamente hacia la superficie. El agua subterránea conforma un porcentaje del ciclo hidrológico y es elemental para la evolución de las generaciones ya que se presenta como reservas que pueden ser aprovechadas en el desarrollo de las actividades.

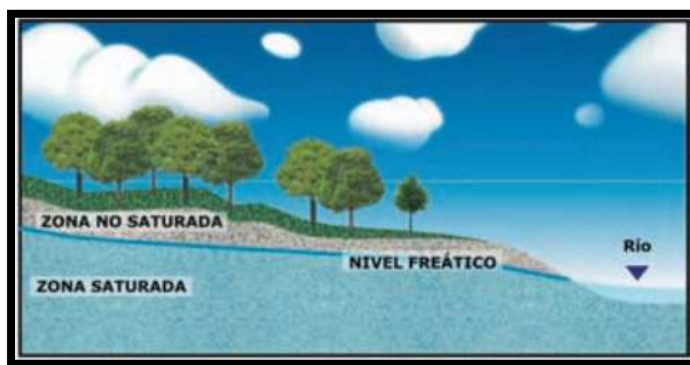


Figura 1: Zona saturada y zona no saturada

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Según Collazo y Montaña (2012) por lo general en el subsuelo se distinguen las siguientes zonas con características hidráulicas diferentes:

Zona no saturada

Se ubica en la superficie del terreno y la superficie freática, está dividida en:

- **Zona de evapotranspiración o edáfica**

Su espesor es variable ya que abarca hasta toda la longitud de las raíces de la vegetación, en esta zona el proceso físico, químico y biológico ocurren con mayor intensidad, llegando a generar gran cantidad de CO₂ el cual sirve como filtro para los contaminantes (Collazo & Montaña, 2012).

- **Zona intermedia**

Abarca toda la longitud de las raíces de la flora y el tope hasta el tope donde llega el agua (Collazo & Montaña, 2012).

- **Zona capilar**

Abarca desde el tope donde llega el agua hasta la superficie freática. Su anchura depende de la dimensión de los poros y de la uniformidad de las rocas (Montaña & Collazo, 2012).

- **Zona saturada**

Se encuentra debajo de la capa freática y donde la existencia de agua cubre todos los poros del terreno (Montaña & Collazo, 2012).

NIVEL FREÁTICO

Es la zona donde el empuje del agua es semejante a la presión atmosférica, también se dice que es el nivel máximo que tiene una columna de agua. La profundidad del nivel freático de un acuífero suele variar en función de las precipitaciones estacionales de a la zona (Lemara, 2020).

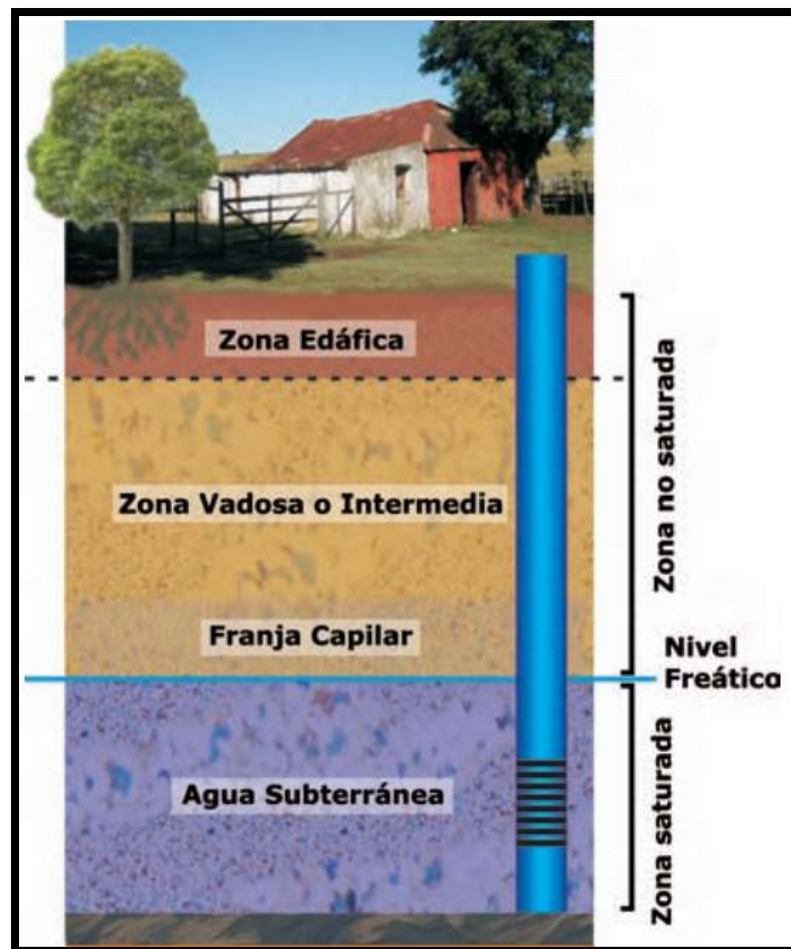


Figura 2: Distribución vertical del agua subterránea

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

ACUIFEROS

Collazo & Montaña (2012) afirman que es una formación geológica con la capacidad de reservar agua en su interior ya que posee un espacio vacío en el cual el agua ingresa mediante zonas saturadas o fracturadas a una velocidad moderada de acuerdo con la composición de la roca.

Según a su comportamiento hidrogeológico se tiene:

Acuícludos

Poseen la capacidad de contener agua, pero no de transmitirla, haciendo imposible su extracción, se tiene como ejemplo las arcillas (Collazo & Montaña, 2012).

Acuífugos

Son formaciones impermeables que no cuentan con las características necesarias para almacenar y transmitir agua, un ejemplo es el granito y gneis (Collazo & Montaña, 2012).

Acuitardos

Son formaciones que en algunos casos pueden almacenar agua, pero la transmiten con lentitud, ejemplo se tiene los limos y limos arenosos (Collazo & Montaña, 2012).

Según su estructura geológica los acuíferos se dividen en:

Acuíferos Libres

La superficie del agua es libre esto significa que corresponde al nivel freático encontrándose a presión atmosférica. Mediante la penetración de las sondas en el acuífero el agua asciende hacia la superficie con la misma presión que tiene dentro

de la formación, es decir el nivel freático es igual al nivel piezométrico (Reckman, 2009).

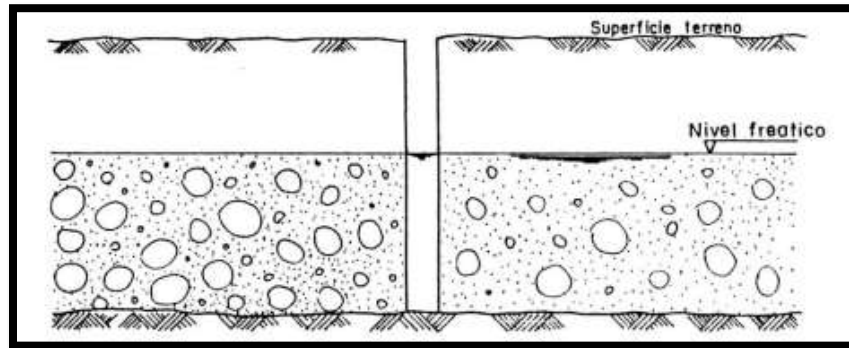


Figura 3: Sistema de un acuífero libre

Fuente: Vélez, 1999.

Acuíferos Confinados

Es una formación permeable limitada por capas impermeables, en esta zona el agua se halla almacenada a una compresión mayor a la atmosférica, en el cual la roca se encuentra muy saturada permitiendo que el agua ingrese con facilidad cubriendo la totalidad del área (Vélez, 1999).

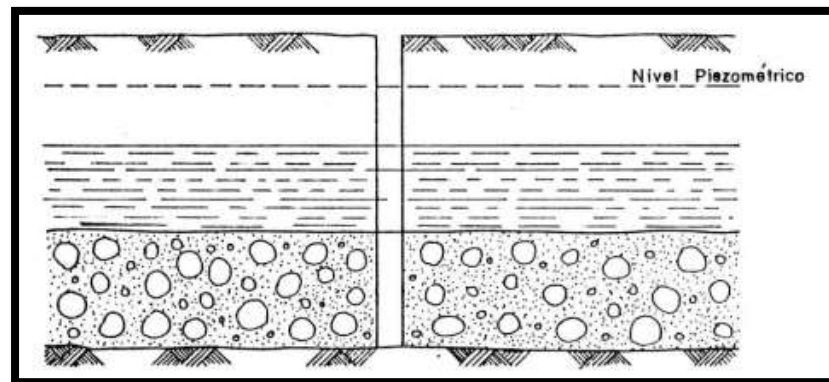


Figura 4: Sistema de un acuífero confinado

Fuente: Vélez, 1999.

Acuíferos Semiconfinados

Presentan zonas limosas y se halla llenos de agua en su totalidad, teniendo la desventaja de limitar por la base o techo. Existe acuíferos que son divididos por un acuitardo pero está situación hace posible que haya un vínculo entre acuíferos (Vélez, 1999).

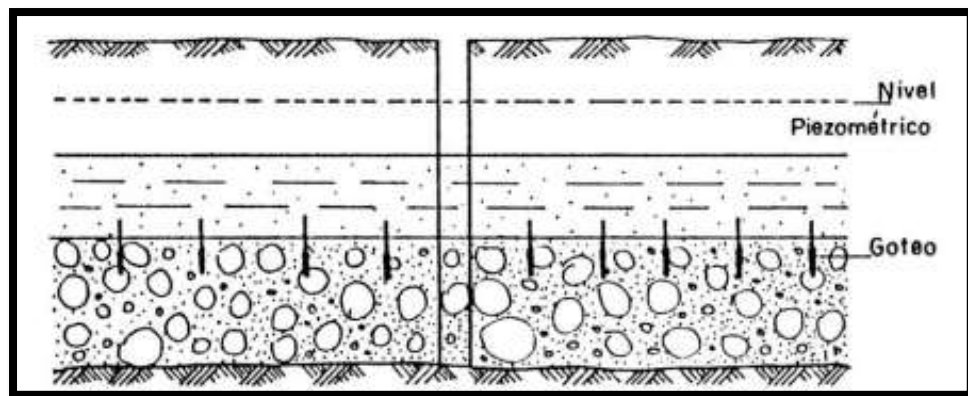


Figura 5: Sistema de un acuífero semiconfinado

Fuente: Vélez, 1999.

Según su porosidad se dividen en:

Acuífero de Porosidad Primaria

Están formados por material sedimentario que pueden estar consolidados o no, principalmente lo componen las arenas y gravas de distinta composición y tamaños (Collazo & Montaña, 2012).

Acuífero de Porosidad Secundaria

Lo componen las rocas ígneas o metamórficas. Permiten el almacenamiento y circulación del agua porque presentan zonas fracturadas, fallas o diaclasas (Collazo & Montaña, 2012).

Acuíferos por Disolución

Está formado por rocas compuestas de carbonato permitiendo que el agua se desplace con una importante ligereza disolviendo con facilidad el carbonato (Collazo & Montaña, 2012).

PROPIEDADES FISICAS DE LOS ACUIFEROS

Porosidad

Es la cantidad de vacíos que ocupan dentro de una roca (Collazo & Montaña, 2012).

$$m = Vv/Vt$$

Donde:

m= Porosidad total

Vv= Volumen da vacíos

Vs= Volumen de solidos

Vt= Vv + Vs volumen total

Tabla 1:

Valores de porosidad en función del material

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Rocas masivas	0,3-8	0,2-0,5
Rocas volcánicas	2-30	1-20
Rocas sedimentarias consolidadas	5-20	1-10
Rocas sedimentarias sueltas	25-50	2-25

Fuente: Custodio & Llamas, 1983.

Ley de Darcy

Define que el volumen del líquido que circula por un área que carece de poros es inversamente distribuido en la totalidad del recorrido del agua, pero igual a la pérdida de carga (Díaz, 2015).

Básicamente se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = KA \frac{\phi_1 - \phi_2}{L}$$

Donde:

Q= Volumen de agua (m³/día)

A= Área de la sección transversal

L= Longitud de la muestra

ϕ_1 y ϕ_2 = Potencial hidráulico

K= Conductividad eléctrica

Transmisividad (T)

Es la cantidad de agua que ingresa a lo largo y ancho por las zonas saturadas del acuífero (Collazo & Montaña, 2012).

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$T = b * k$$

Donde:

T= Transmisibilidad (m²/día o cm²/hora)

k= Conductividad hidráulica

b= Espesor del acuífero

Conductividad hidráulica (K)

Se define como la facilidad que tiene el agua para ingresar al acuífero. El agua puede tener un movimiento lento o rápido debido al tamaño y forma de las partículas, así como la viscosidad. Se mide en m/día o m³/día (Ordoñez, 2011).

Tabla 2:

Valores de conductividad hidráulica K

TIPO DE TERRENO	(m/día)
Grava limpia	1000
Arena gruesa limpia	1000 a 10
Arena fina	5 a 1
Arena limosa	2 a 0,1
Limo	0,5 a 0,001
Arcilla	<0,001

Fuente: Custodio & Llamas, 1983.

Coefficiente del Almacenamiento (S)

Es la cantidad de agua que un acuífero puede descargar por un área vertical, dicho liquido debe llenar en su totalidad la región saturada desde su origen hasta alcanzar la superficie (Ordoñez, 2011).

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$S = \rho g D (\alpha + n\beta)$$

Donde:

ρ = Densidad de agua

g= Aceleración de gravedad

α = Compresibilidad de la zona

n = poros

β = Compresibilidad de agua

D = Espesor del acuífero

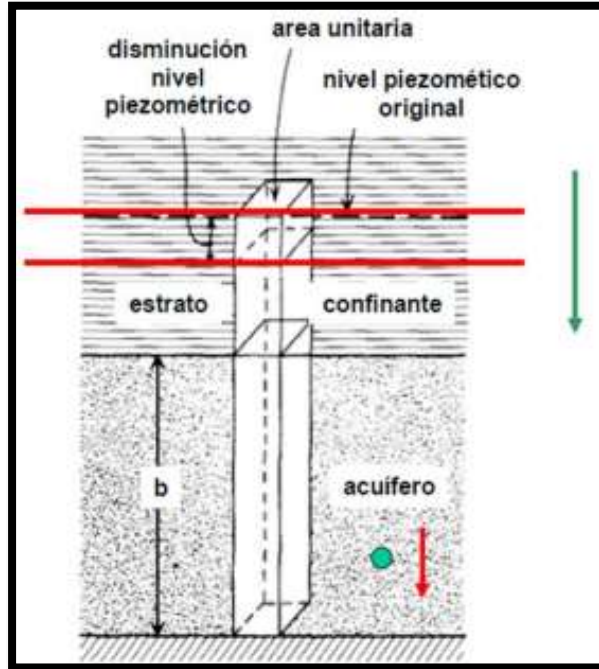


Figura 6: Coeficiente de almacenamiento

Fuente: Universidad de Chile, 2023.

MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se puede distinguir dos métodos de prospección: los que se reanudan en perforaciones antiguas teniendo como desventaja alto costo de desarrollo, denominados inspección geofísica y por otra parte los superficiales que nos permite realizar trabajos en el manto terrestre, recogiendo muestras a pocos metros de profundidad tiene un costo relativamente accesible (Reckmann, 2009).

Método superficial

Se puede diagnosticar de forma pre eliminar la existencia de agua en el subsuelo, así como las características del área, se realiza a través de visitas de campo que permitan obtener información de todos los puntos posibles de origen agua. Dentro de estos métodos tenemos los mapas geológicos, mapas topográficos, análisis de fracturas e inventario de pozos ya existentes (Vélez, 1999).

Método Geofísico

Podemos determinar las características físicas del macizo rocoso y medir las distintas cantidades de resistividad del macizo rocoso a distintas profundidades, también nos permite estudiar los cambios de gravedad en la superficie para definir las zonas más compactas que presenta determinada área (Vélez, 1999).

La captación de agua se realiza mediante perforación de pozos verticales y horizontales (zanjas de drenaje) (Collazo & Montaña, 2012).

Pozos Verticales

Existen los excavados manualmente utilizando herramientas sencillas como palas y picos, siendo posible alcanzar el nivel freático, con diámetro mayor a 1 metro por otro lado se tiene los pozos perforados utilizando maquinas perforadoras para su construcción, pero con un diámetro reducido generalmente medido en pulgadas (Collazo & Montaña, 2012).

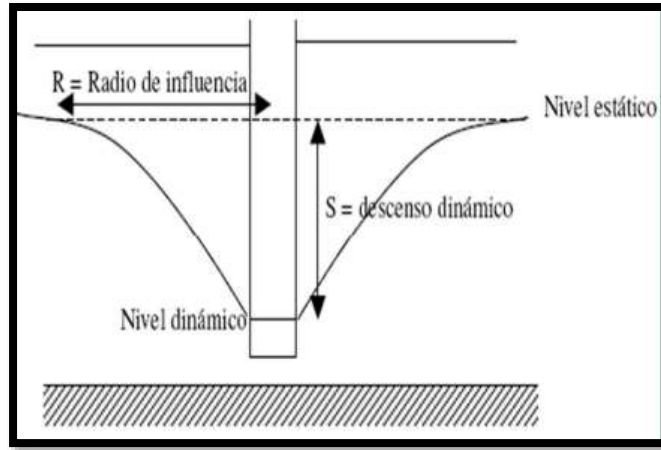


Figura 7: Cono de abatimiento

Fuente: Hernández, 2015.

MÉTODOS DE PERFORACIÓN

Tabla 3:

Selección del método de perforación para captaciones hidrogeológicas

DUREZA	EJEMPLOS DE LITOLOGIA	DIÁMETRO	CAPTACIÓN SUPERFICIAL (<100M)	CAPTACIÓN PROFUNDA
MUY DURA resistencia a compresión >2.000 kp/cm ²	Pizarras Cuarcitas Granitos Basaltos	Grande	x	x
DURA resistencia a compresión entre 800-2.000 kp/cm ²	Calizas duras Areniscas duras	Pequeño (<300 mm)	RotoperCUSión con circulación directa	x
MEDIA resistencia a compresión entre 200-800 kp/cm ²	Calizas Areniscas	Grande	RotoperCUSión con circulación directa	RotoperCUSión con circulación inversa
		Pequeño (<300 mm)	RotoperCUSión con circulación directa ¿Rotación a circulación inversa?	RotoperCUSión con circulación directa ¿Rotación a circulación inversa?
BLANDA resistencia a	Arenas Limos	Grande	Pozo abierto Percusión	RotoperCUSión con circulación directa ¿Rotación a circulación inversa?

Fuente: Garcia, 2009.

Perforación a Percusión por Cable

Este método es efectivo en terrenos consolidados como no consolidados. Tiene como principal herramienta de corte un martillo, el cual golpea la roca repetidas veces para poder avanzar también cuenta con una cuchara para extraer los fragmentos de roca triturado dentro del pozo (Collazo & Montaña, 2012).

Perforación a Rotación

Se emplea en terrenos no compactados en su totalidad como por ejemplo limos o arena. Su herramienta de corte es el tricono, el cual desgasta la roca por medio de cortes giratorios, se utiliza agua o lodo para extraer el material triturado mediante arrastre (Collazo & Montaña, 2012).

Perforación a Rotopercusión

Se utiliza mayormente en terrenos consolidados. Posee una unidad neumática y como herramienta de corte un martillo de fondo, para hacer posible la ruptura de la roca es necesario la combinación del martillo de rotación y percusión. Se extrae el material cortado y las herramientas mediante una bomba de lodos (Collazo & Montaña, 2012).

Dentro de la perforación a rotopercusión se tiene:

PERFORACIÓN AIRE REVERSO

Este sistema emplea tubos de doble pared para realizar el trabajo de perforación y utiliza un flujo de aire para extraer la roca triturada la misma que será del tamaño semejante al diámetro del tubo interior. En un inicio se obtuvieron muestras con una gran precisión ya que se usaron brocas cilíndricas tónicas. (Talledo, 2015).

Teniendo en cuenta la circulación del aire o agua, se puede distinguir dos sistemas de perforación:

- **De circulación normal**

Ocurre en el momento que la inyección asciende arrastrando el cutting y desciende entre la tubería y la pared del pozo, espacio que hace posible el movimiento libre de la inyección (Mantilla, 2019).

- **De circulación reversa**

Este sistema emplea tubos de doble pared haciendo que el fluido ascienda por el diámetro interior de la tubería y descienda por el espacio creado entre las dos tuberías (Mantilla, 2019).

Mediante la perforación de RC se obtienen muestras trituradas en su totalidad similar al polvo la cual nos sirve para verificar la presencia de ciertos minerales. El trabajo de perforación se realiza a una velocidad moderada dependiendo del tipo de roca, pero por lo general es una penetración veloz y su costo es ligeramente accesible. Este sistema brinda un reporte de minerales y la concentración de ley presentes en zonas medianas a muy duras (Arias et al, 2015).

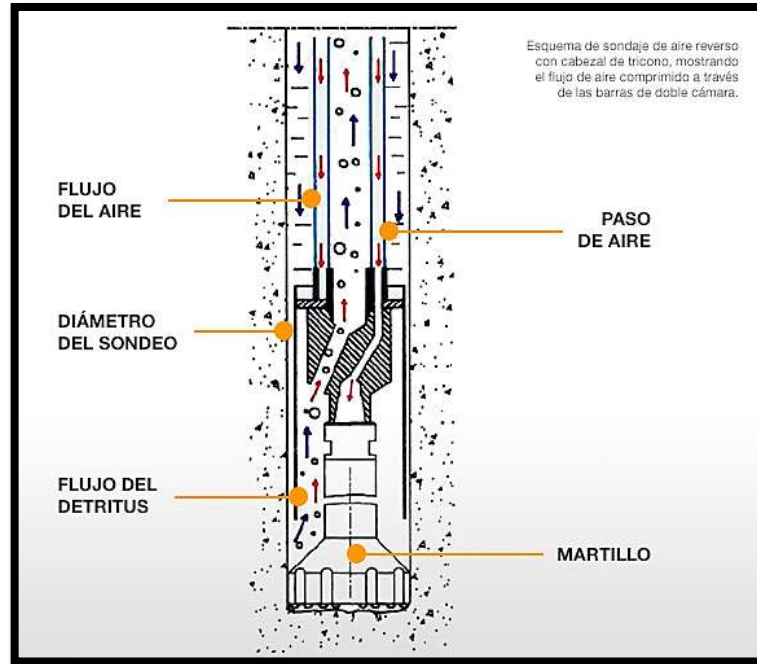


Figura 8: Esquema de sondaje de aire reverso con cabezal de tricono

Fuente: Explomin perforaciones 2022.

CONSTRUCCIÓN DE POZOS

Como punto de partida se realiza la exploración y prospección del terreno, con el fin de verificar indicios que nos muestren la presencia de agua subterránea, evidenciar las características geológicas del área y examinar la posible profundidad del recuro. A partir de ello se podrá definir el tipo de perforación y las herramientas necesarias para extraer el agua (Arévalo, 2017).

Los diseños varían de acuerdo con el material del acuífero, se entuba en su totalidad si es un pozo en acuífero poroso, se entuba parcialmente si es un pozo en acuífero fracturado, y los pozos mixtos se entuban combinando lo anterior de acuerdo con el terreno (Collazo & Montaña, 2012).

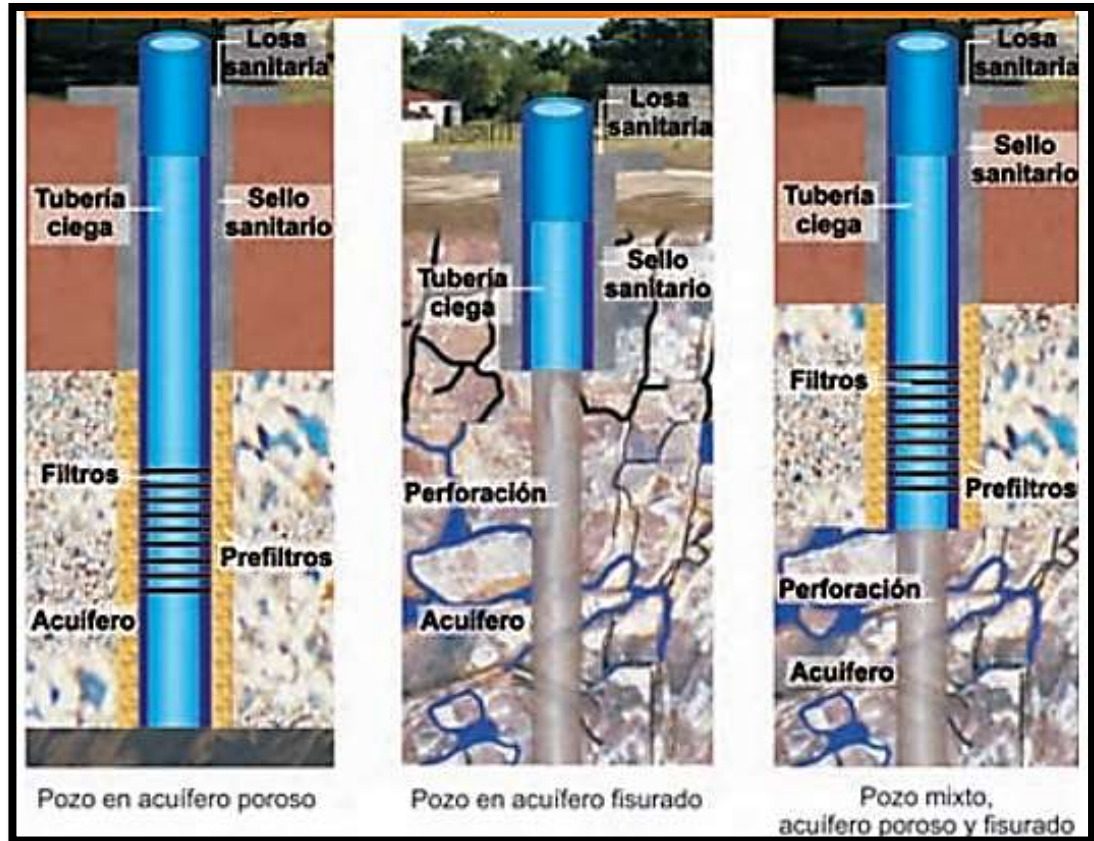


Figura 9: Diseño de pozos en función del terreno

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

Diámetro de perforación

El diámetro está vinculado con el caudal de agua subterránea que se procura extraer del interior del pozo. El tipo de perforación influye en el diámetro a emplear ya que es necesario introducir equipos de bombeo, el acondicionamiento previsto para el pozo también predomina, para ello se debe tener en cuenta el diámetro interno y el espesor del tubo de perforación (Herrera & Castilla, 2012).

Cantidad y material del tubo

La tubería sirve como soporte de las paredes del pozo y permite que el agua ascienda hacia la superficie. La calidad del agua presente en el subsuelo influye en la elección del tubo que se pretende usar para la extracción del líquido, en caso de los acuíferos fisurados

el pozo se entuba parcialmente dependiendo del estado de la zona y completamente en acuíferos con muchos poros. Es importante que la tubería sea la adecuada para cada tipo de acuífero a su vez contar con las normas vigentes (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 10: Tubería para revestimiento de pozo

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

Filtro y Pre-filtro

Impide la entrada de arena junto con el agua, para un correcto filtrado se toma en cuenta el tamaño de las partículas de la arena y grava, así como la dimensión del acuífero. Se recomienda que todos los materiales necesarios para la extracción de agua sean del mismo material, todos estos parámetros determinan el caudal específico del pozo. Para retener la arena muy fina es necesario colocar el pre-filtro, el cual está constituido por grava seleccionada (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 11: Filtro de ranura continua en acero inoxidable

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

Cementación

Su función es impedir el ingreso de agua superficial contaminada. Se compone de cemento y arena, su principal función es cubrir el espacio existente entre el pozo y la tubería (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 12: Pozo sin cementar

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

Desarrollo

Básicamente se aplica aire comprimido con la finalidad de extraer posibles restos de material fracturado, pudiendo causar daños en el equipo de bombeo si no se remueve completamente este material. Otro objetivo es extraer el mayor caudal de agua subterránea. Para poder rehabilitar un pozo antiguo es necesario restaurarlo por completo o semejante a como se encontraba haciendo lo posible por alcanzar la profundidad en la que se encuentra el agua para extraer el caudal ideal (Collazo & Montaña, 2012).

Culminación del pozo

Se realiza una plataforma de hormigón armado alrededor de la tubería, en ella se grabará la razón social de la empresa y el año en que se construyó. La plataforma debe tener las siguientes especificaciones: 25 centímetros de altura y 3% de pendiente para que el agua de lluvia no se acumule (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 13: Terminación de un pozo de agua en superficie

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

MEDICIÓN DE NIVELES DE AGUA

Se utilizan medidores manuales como: eléctricos, acústicos y manómetros. Se componen por un cable eléctrico conectado un electro en un extremo y el otro unido a una fuente, el electrodo cuando entra contacto con el recurso subterráneo obstruye el ciclo y gesticula una alarma, que bien puede tratarse de una luz o sonido (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 14: Medición de nivel freático y profundidad del pozo

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

MEDICIÓN DEL CAUDAL

Se trata en calcular el tiempo que tarde en llenarse un recipiente, para verificar que el caudal sea constante se debe realizar la medición en repetidas ocasiones las veces que sea necesaria. Para medir caudales de 3600 l/h se emplean baldes de 20L y para caudales que varían entre 3600 l/h a 360000 l/h tanques de 200L (Collazo & Montaña, 2012).



Figura 15: Prueba de caudal o aforo

Fuente: Collazo & Montaña, 2012.

SISTEMA AIR LIFT

Es un dispositivo simple que funciona con aire comprimido o gas. En el fondo de la tubería se inyecta la sustancia gaseosa y por diferencia de densidad hace que el agua se eleve rápidamente por la tubería obligándolo a moverse en la misma dirección. Las fuerzas presentes en la mezcla aire – agua tienen una influencia significativa ya que si son iguales el líquido se elevará hasta el punto donde existe una semejanza. Por el contrario, si existe una supremacía de las fuerzas impulsadoras el fluido se moverá por toda la tubería y será arrojado con una mayor velocidad a la que ingreso. También se presenta la fuerza de flotabilidad haciendo que el líquido emerja mientras que la fuerza de gravedad actúa empujando en sentido contrario (Carmona, 2021).

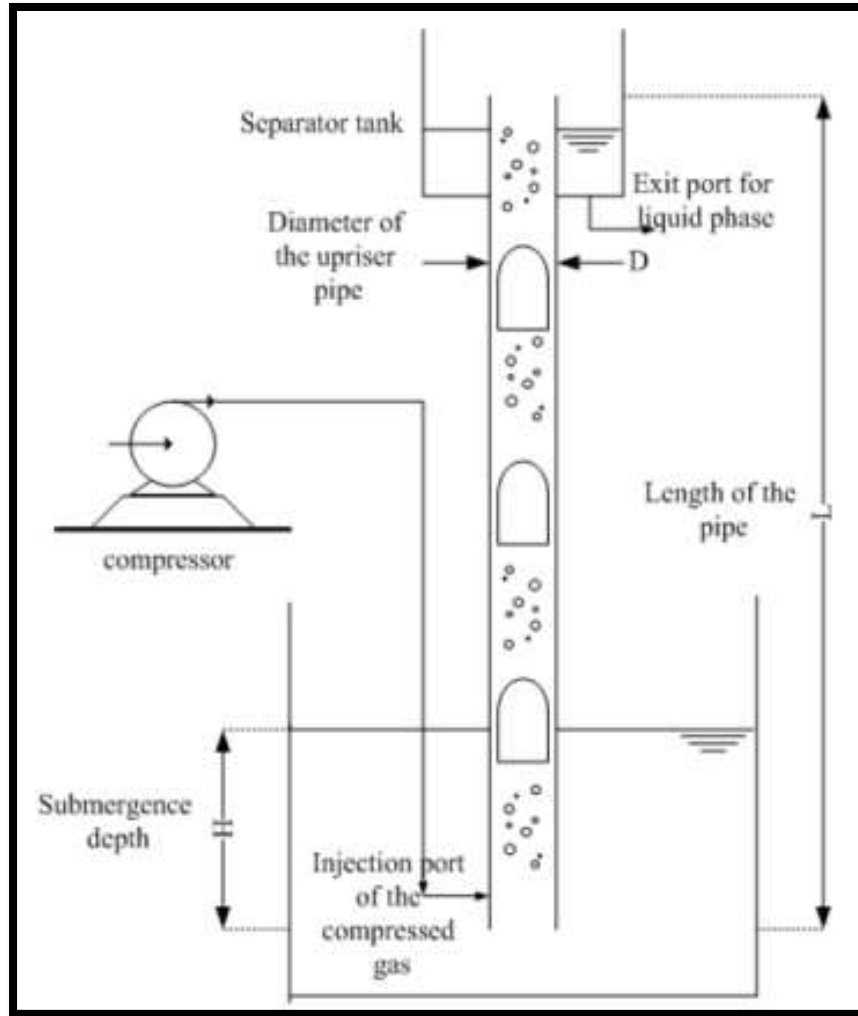


Figura 16: Funcionamiento de sistema AirLift

Fuente: Hanafizadeh, 2014.

PIEZOMETROS

Es un instrumento de medición geotécnica, se utiliza para medir las presiones de agua, verificar el sistema de drenaje, para determinar la condición del agua y principalmente estima la variación del nivel freático ya sea por alguna filtración de las aguas de lluvia o de algún río y lago. La aplicación de piezómetros permite obtener muestras de agua para analizar sus componentes y determinar la calidad (Cabrera & Sanabria, 2015).

Cabe mencionar que los fabricantes de estos aparatos se encuentran en la obligación de entregar todos los requerimientos, funcionalidades, forma de instalación y dar capacitaciones en la toma de medidas ya que cualquier tipo de piezómetro presenta algunas limitaciones por ello, desde el inicio de su funcionamiento, un piezómetro debe estar correctamente calibrado y tener un plan o procedimiento de su uso. Como precaución se recomienda tener un programa de calibración y mantenimiento para toda la instrumentación, y de tal manera, poder asegurar que los datos obtenidos durante el monitoreo son reales y certeros (Beltrán & Vintimilla, 2014).

Piezómetro Casagrande o Tubo Abierto

Este piezómetro funciona como un vínculo que enlaza la superficie con el acuífero, la captación de agua es posible mediante un cuerpo poroso en el interior del tubo. Tiene como principal interés medir la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en ocasiones se coloca un manómetro para rastrear la altura a la que se encuentra el agua. Su aplicación es ideal en zonas donde el nivel freático es estático y presentan una permeabilidad baja o mediana. Este piezómetro está conformado por: un sello de bentonita que se cola alrededor del tubo vertical y por encima del filtro, un filtro de arena que impide que ingresen partículas que contaminen el agua, varios tubos que se enroscan entre si hasta alcanzar la profundidad máxima colocándose lo más vertical posible y en el fondo una tapa (Novak, P. et al., 2001).

El filtro de arena permite que las partículas no obstruyan el ascenso del agua por el tubo vertical hasta llegar a la superficie. Para que el agua que se pretende extraer no sea procedente de otras fuentes y alteren su composición se coloca el sello de bentonita. Dependiendo de la calidad de agua se puede colocar tubo de metal o pvc

con un diámetro de 1.2 cm para que las burbujas de aire se muevan libremente adjuntando una piedra porosa en su base (Beltrán & Vintimilla, 2014).

Para medir la altura a la que se encuentra el agua subterránea dentro del piezómetro se utiliza una sonda eléctrica la cual consta de dos electrodos ubicados en cada uno de los extremos, para ello se introduce un electrodo dentro del tubo hasta hacer contacto con el agua, acción que obstruye el circuito reflejándose mediante parpadeo de una luz o un sonido (Beltrán & Vintimilla, 2014).

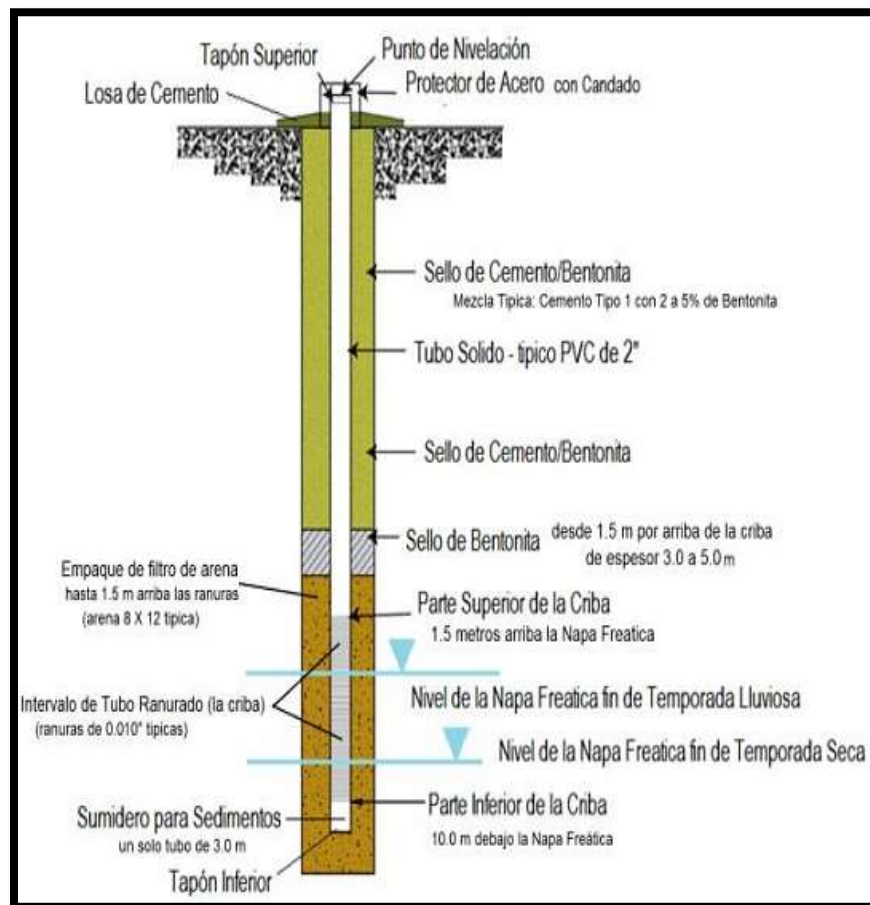


Figura 17: Diseño ideal para piezómetro tipo casa grande

Fuente: Minera Barrick Misquichilca, 2013.

1.2. Formulación del problema

¿Las pruebas airlif permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo 2022?

1.3. Objetivos

Objetivo General:

Determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en la U.M. Shahuindo 2022.

Objetivos Específicos:

- Verificar la presencia de agua en el área mediante perforaciones de aire reverso.
- Evaluar el caudal de agua subterránea encontrada en cada sondaje mediante pruebas airlift.
- Determinar que sondaje presenta el mayor volumen de agua para instalación de piezómetro casa grande.
- Evaluar la recuperación de agua en el sondaje con mayor volumen de agua.

1.4. Hipótesis

H1: Las pruebas airlift permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo.

H0: Las pruebas airlift no permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación según su enfoque será cuantitativa ya que estudia la realidad y hechos de naturaleza objetiva a partir del análisis de datos numéricos y el uso estadístico para establecer valores exactos (Mata, L. 2019). Para el caso de estudio se realizará a partir de pruebas airlif y pruebas de recuperación de niveles de agua subterránea.

Según su finalidad será aplicada. De acuerdo con (Murillo, W. 2008) se busca poner en práctica los conocimientos adquiridos previamente y a su vez durante el desarrollo de la investigación se adquieren nuevos conocimientos, se basa en los hallazgos para dar respuesta a una pregunta, teniendo resultados de manera ordenada y rigurosa.

Según su profundidad presenta un nivel descriptivo ya que busca explicar lo que se investiga, con el fin de especificar las características puntuales o el comportamiento de ciertos fenómenos (Sabino, C. 1992).

Según el diseño será experimental. Se trata de someter un objeto a determinadas condiciones y verificar los efectos que se producen (Arias, F. 2012) para esta investigación se observará la presencia de agua subterránea mediante perforación de aire reverso, para posteriormente evaluar el caudal y recuperación de niveles de agua en los sondajes, a partir de ello, determinar cuál presenta el mayor volumen de agua para instalación de un piezómetro tipo casa grande.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

La población de la presente investigación está conformada por todos los sondajes de aire reverso de la U.M. Shahuindo, los cuales fueron realizados como parte de la búsqueda de agua subterránea.

Muestra

Se consideró 8 sondajes desarrollados con perforación de aire reverso:

- Sondaje PZ-3 con profundidad de 162 metros.
- Sondaje PZ-5 con profundidad de 150 metros.
- Sondaje P-10 con profundidad de 120 metros.
- Sondaje PZ-4 con profundidad de 150 metros
- Sondaje PROP-4 con profundidad de 150 metros.
- Sondaje PZ-2 con profundidad de 150 metros.
- Sondaje PZ-6 con profundidad de 70 metros.
- Sondaje PROP-3 con profundidad de 170 metros.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

Para la recolección de datos se aplicó las siguientes técnicas:

- **Observación (in situ):** Se verificó la muestra obtenida de perforación, en donde se aprecia la presencia de agua subterránea, de igual manera, se usó la sonda de nivel de agua para verificar la profundidad del nivel de agua. También se verifico el caudal y recuperación de agua.

- **Análisis documental:** Es un proceso que permite extraer información de las fuentes que se encuentran al alcance del investigador, por lo anterior, se concluye que se trata de una derivación del documento original (Rubio, M. 2005). Para la investigación se realizó revisando los reportes diarios de perforación, pruebas airlift y prueba de recuperación de niveles de agua.

Para la recolección de datos se usó los siguientes instrumentos:

- **Ficha de registro de datos:** registra los datos de la principal fuente, permite ordenar de manera sistemática y clasificar los datos obtenidos facilitando su posterior análisis e interpretación (Tamayo & Tamayo, 2010). (Anexo 6).
- **Registro fotográfico:** representa un instrumento altamente usado por los investigadores porque permite adentrarse a la problemática y poder registrarla de manera subjetiva (Hernández, 2008). (Anexo 11).

Tabla 4:

Matriz de validación de expertos

Título de investigación:
Línea de investigación:
El instrumento de medición pertenece a la variable:

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "X" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable de estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?			
2	¿En el instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?			

- 3 ¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?
¿El instrumento de recolección de datos
- 4 facilitará el logro de los objetivos de investigación?
- 5 ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?
¿Cada uno de los ítems del instrumento de
- 6 medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?
- 7 ¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?
- 8 ¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?
¿El instrumento de medición es claro, preciso y
- 9 sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?

Sugerencias:

Nombre completo:

DNI:

Profesión:

Grado académico:

Firma del evaluador

Fuente: Elaboración propia.

2.4.Procedimiento de recolección de datos

Etapa de pre-campo

Se realizó una búsqueda de estudios previos por las diferentes bases de datos con la finalidad sustentar de manera documental el estudio, dichas investigaciones presentaron un vínculo directo con las variables de estudio. Por lo anterior expuesto, sirvió de base para redactar el título de investigación, realidad problemática, antecedentes, objetivos, pregunta de investigación, hipótesis y metodología. Luego se planificó como realizar la toma de datos para cumplir con los objetivos planteados.

Etapa de campo

Se realizó en 3 etapas:

La primera para realizar los trabajos de perforación de manera convencional en el ante pozo verificando la presencia de agua en la roca triturada, dicha perforación se realizó hasta la profundidad donde se apreció indicios de la existencia de agua subterránea, para luego seguir la perforación mediante el sistema de perforación aire reverso hasta llegar a la profundidad planificada. La segunda etapa para realizar pruebas airlif en cada uno de los sondajes con presencia de agua. Y Finalmente se realizó pruebas de recuperación de nivel de agua en el sondaje con mayor volumen de agua.

Etapa de post campo

Se realizó un análisis de los datos obtenidos in situ mediante el programa Microsoft Excel (tablas y gráficos) para poder redactar el trabajo de investigación alineándonos a las pautas establecidas por la Universidad Privada del Norte.

2.6. Aspectos éticos

Antes, durante y después de la obtención de datos y redacción de la tesis se respetó los valores y principios de todas las personas involucradas en la elaboración de la tesis, de tal modo que, la presente investigación se desarrolló de manera natural en la cual todos los datos son verídicos, presentando resultados confiables. Cabe mencionar que, los instrumentos de recolección de datos fueron validados por expertos dando visto bueno para un correcto control de estos. En ella los egresados asumen su autoría y dan valides de su originalidad. La tesis está redactada de acuerdo con las normas APA y alineamientos establecidos por la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Verificar la presencia de agua en el área mediante perforaciones de aire reverso

La Unidad Minera Shahuindo planea ampliar sus operaciones en el tajo, para ello realizó una campaña de perforación de aire reverso con el fin de determinar la existencia de agua subterránea y sus niveles de profundidad, las cuales después de un determinado tiempo de monitoreo serán drenadas.

En el caso de estudio se perforó en 08 puntos diferentes, a continuación, se muestra la distribución de cada uno de ellos.



Figura 18: Mapa de distribución de los 8 sondajes.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se muestra los resultados de perforación de aire reverso, en donde se aprecia que se encontró la existencia de agua subterránea solo en 05 sondajes.

Tabla 5:

Sondajes realizados mediante perforación aire reverso

Nº	SONDAJES	ANGULO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	AGUA
1	PZ-03	-90	POLVORIN	162	NO
2	PZ-05	-90	CHANCADORA	150	NO
3	P-10	-90	SAUCE	120	SI
4	PZ-04	-90	DOMO	150	NO
5	PROP-04	-90	HIGUERON	150	SI
6	PZ-02	-90	CHOLOQUE	150	SI
7	PZ-06	-90	CHOLOQUE BAJO	70	SI
8	PROP-03	-90	QUEBRADA LA HIERVA	170	SI

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Evaluar el caudal de agua subterránea encontrada en cada sondaje mediante pruebas airlift

Pruebas airlift en el sondaje P-10

Se detectó la presencia de agua subterránea desde los 72 metros de profundidad, por ende, se realizó las pruebas airlift desde ese metraje, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 6:

Pruebas airlift en el sondaje P-10

Hora del día	Segundos para llenar el tambor			Promedio de segundos para llenar el tambor	Rendimiento de pozo (L/s)	Profundidad (M)	Presión (PSI)
	Paso 1	Paso 2	Paso 3				
10:00	5.76	5.17	5.18	5.37	3.72	120	120
10:05	5.42	5.20	5.36	5.33	3.75	120	120
10:10	5.50	5.35	5.22	5.36	3.73	120	120
10:15	5.48	5.33	5.23	5.35	3.74	120	120
10:20	5.60	5.39	5.28	5.42	3.69	120	120
10:25	5.53	5.42	5.25	5.40	3.70	120	120
10:30	5.39	5.29	5.40	5.36	3.73	120	120
10:35	5.42	5.38	5.28	5.36	3.73	120	120
10:40	5.54	5.43	5.35	5.44	3.68	120	120
10:45	5.63	5.52	5.35	5.50	3.64	120	120
10:50	5.57	5.46	5.39	5.47	3.65	120	120
10:55	5.68	5.43	5.37	5.49	3.64	120	120
11:00	5.59	5.42	5.40	5.47	3.66	120	120
11:05	5.63	5.41	5.32	5.45	3.67	120	120
11:10	5.67	5.46	5.40	5.51	3.63	120	120
11:15	5.69	5.47	5.44	5.53	3.61	120	120
11:20	5.65	5.50	5.52	5.56	3.60	120	120
11:25	5.61	5.54	5.48	5.54	3.61	120	120
11:30	5.59	5.60	5.43	5.54	3.61	120	120
11:35	5.60	5.40	5.42	5.47	3.65	120	120
11:40	5.62	5.42	5.40	5.48	3.65	120	120
11:45	5.70	5.40	5.42	5.51	3.63	120	120
11:50	5.63	5.52	5.43	5.53	3.62	120	120
11:55	5.67	5.49	5.50	5.55	3.60	120	120

Fuente: Elaboración Propia.

Pruebas airlift en el sondaje PROP-04

Se detectó la presencia de agua subterránea desde los 66 metros de profundidad, por ende, se realizó las pruebas airlift desde ese metraje, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 7:

Pruebas airlift en el sondaje PROP-04

Hora del día	Segundos para llenar tambor			Promedio Segundos para llenar tambor	Rendimiento de pozo (L/S)	Profundidad (M)	Presión (PSI)
	Paso 1	Paso 2	Paso 3				
16:30	3.56	3.63	3.97	3.72	5.38	150	170
16:35	3.52	3.80	3.92	3.75	5.34	150	170
16:40	3.68	3.87	3.45	3.67	5.45	150	170
16:45	3.58	3.80	3.82	3.73	5.36	150	170
16:50	3.72	3.67	3.80	3.73	5.36	150	170
16:55	3.68	3.72	3.81	3.74	5.35	150	170
17:00	3.66	3.73	3.56	3.65	5.48	150	170
17:05	3.64	3.77	3.80	3.74	5.35	150	170
17:10	3.80	3.79	3.77	3.79	5.28	150	170
17:15	3.66	3.86	3.76	3.76	5.32	150	170
17:20	3.73	3.50	3.77	3.67	5.45	150	170
17:25	3.82	3.62	3.79	3.74	5.34	150	170
17:30	3.80	3.69	3.65	3.71	5.39	150	170
17:35	3.81	3.62	3.52	3.65	5.48	150	170
17:40	3.84	3.78	3.67	3.76	5.31	150	170
17:45	3.63	3.80	3.59	3.67	5.44	150	170
17:50	3.62	3.75	3.72	3.70	5.41	150	170
17:55	3.81	3.66	3.79	3.75	5.33	150	170
18:00	3.59	3.75	3.77	3.70	5.40	150	170
18:05	3.89	3.83	3.88	3.87	5.17	150	170
18:10	3.78	3.62	3.76	3.72	5.38	150	170
18:15	3.80	3.77	3.84	3.80	5.26	150	170
18:20	3.89	3.62	3.83	3.78	5.29	150	170
18:25	3.85	3.79	3.87	3.84	5.21	150	170
18:30	3.83	3.70	3.74	3.76	5.32	150	170

Fuente: Elaboración Propia.

Pruebas airlift en el sondaje PZ-02

Se detectó la presencia de agua subterránea desde los 102 metros de profundidad, por ende, se realizó las pruebas airlift desde ese metraje, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 8:

Pruebas airlift en el sondaje PZ-02

Hora del día	Segundos para llenar tambor			Promedio Segundos para llenar tambor	Rendimiento de pozo (L/S)	Profundidad (M)	Presión (PSI)
	Paso 1	Paso 2	Paso 3				
02:00	4.27	4.24	4.20	4.24	4.72	150	120
02:05	4.29	4.18	4.30	4.26	4.70	150	120
02:10	4.26	4.22	4.25	4.24	4.71	150	120
02:15	4.22	4.31	4.29	4.27	4.68	150	120
02:20	4.31	4.37	4.34	4.34	4.61	150	120
02:25	4.38	4.42	4.40	4.40	4.55	150	120
02:30	4.37	4.34	4.39	4.37	4.58	150	120
02:30	4.32	4.39	4.41	4.37	4.57	150	120
02:35	4.45	4.42	4.41	4.43	4.52	150	120
02:40	4.37	4.45	4.43	4.42	4.53	150	120
02:45	4.57	4.58	4.60	4.58	4.36	150	120
02:50	4.51	4.59	4.61	4.57	4.38	150	120
02:55	4.59	4.65	4.69	4.64	4.31	150	120
03:00	4.80	4.81	4.78	4.80	4.17	150	120
03:05	4.77	4.75	4.80	4.77	4.19	150	120
03:10	4.81	4.79	4.83	4.81	4.16	150	120
03:15	4.86	4.90	4.88	4.88	4.10	150	120
03:20	4.95	4.91	4.97	4.94	4.05	150	120
03:25	4.96	4.90	4.97	4.94	4.05	150	120
03:30	4.97	4.92	4.95	4.95	4.04	150	120
03:35	4.95	4.93	4.96	4.95	4.04	150	120
03:40	4.98	4.97	4.98	4.98	4.02	150	120
03:45	4.96	4.97	4.99	4.97	4.02	150	120
03:50	4.98	4.95	4.97	4.97	4.03	150	120
03:55	4.98	4.99	5.00	4.99	4.01	150	120
04:00	5.01	5.05	5.00	5.02	3.98	150	120

Fuente: Elaboración Propia.

Pruebas airlift en el sondaje PZ-06

Se detectó la presencia de agua subterránea desde los 12 metros de profundidad, por ende, se realizó las pruebas airlift desde ese metraje, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 9:

Pruebas airlift en el sondaje PZ-06

Hora del día	Segundos para llenar tambor			Promedio Segundos para llenar tambor	Rendimiento de pozo (L/S)	Profundidad (M)	Presión (PSI)
	Paso 1	Paso 2	Paso 3				
17:00	3.40	3.30	3.25	3.32	6.03	70	90
17:05	3.10	3.15	3.13	3.13	6.40	70	90
17:10	3.21	3.16	3.18	3.18	6.28	70	90
17:15	3.17	3.14	3.12	3.14	6.36	70	90
17:20	3.11	3.09	3.14	3.11	6.42	70	90
17:25	3.09	3.16	3.13	3.13	6.40	70	90
17:30	3.18	3.13	3.07	3.13	6.40	70	90
17:35	3.06	3.11	3.09	3.09	6.48	70	90
17:40	3.17	3.07	3.15	3.13	6.39	70	90
17:45	3.08	3.13	3.09	3.10	6.45	70	90
17:50	3.05	3.01	3.04	3.03	6.59	70	90
17:55	3.13	3.08	3.05	3.09	6.48	70	90
18:00	3.07	3.03	3.05	3.05	6.56	70	90
18:05	3.04	3.07	3.09	3.07	6.52	70	90
18:10	3.05	3.08	3.06	3.06	6.53	70	90
18:15	3.09	3.05	3.05	3.06	6.53	70	90
18:20	3.02	3.07	3.04	3.04	6.57	70	90
18:25	3.03	3.06	3.07	3.05	6.55	70	90
18:30	3.10	3.08	3.13	3.10	6.44	70	90
18:35	3.12	3.04	3.06	3.07	6.51	70	90
18:40	3.07	3.09	3.05	3.07	6.51	70	90
18:45	3.11	3.08	3.07	3.09	6.48	70	90
18:50	3.04	3.10	3.12	3.09	6.48	70	90
18:55	3.10	3.06	3.12	3.09	6.47	70	90
19:00	3.09	3.05	3.07	3.07	6.51	70	90

Fuente: Elaboración Propia.

Pruebas airlift en el sondaje PROP-03

Se detectó la presencia de agua subterránea desde los 126 metros de profundidad, por ende, se realizó las pruebas airlift desde ese metraje, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 10:

Prueba airlift en el sondaje PROP-03

Hora del día	Segundos para llenar tambor			Promedio Segundos para llenar tambor	Rendimiento de pozo (L/S)	Profundidad (M)	Presión (PSI)
	Paso 1	Paso 2	Paso 3				
13:00	7.05	7.00	6.95	7.00	2.86	170	110
13:05	7.08	6.97	6.96	7.00	2.86	170	110
13:10	6.95	7.02	6.99	6.99	2.86	170	110
13:15	6.98	7.14	7.06	7.06	2.83	170	110
13:20	7.00	6.89	6.86	6.92	2.89	170	110
13:25	6.89	6.75	6.80	6.81	2.94	170	110
13:30	6.72	6.65	6.77	6.71	2.98	170	110
13:35	6.75	6.67	6.74	6.72	2.98	170	110
13:40	6.62	6.60	6.83	6.68	2.99	170	110
13:45	6.59	6.65	6.74	6.66	3.00	170	110
13:50	6.87	6.75	6.61	6.74	2.97	170	110
13:55	6.76	6.80	6.72	6.76	2.96	170	110
14:00	6.74	6.71	6.80	6.75	2.96	170	110
14:05	6.69	6.73	6.65	6.69	2.99	170	110
14:10	6.75	6.67	6.78	6.73	2.97	170	110
14:15	6.80	6.63	6.76	6.73	2.97	170	110
14:20	6.79	6.72	6.77	6.76	2.96	170	110
14:25	6.81	6.67	6.83	6.77	2.95	170	110
14:30	6.75	6.79	6.62	6.72	2.98	170	110
14:35	6.71	6.68	6.74	6.71	2.98	170	110
14:40	6.77	6.68	6.75	6.73	2.97	170	110
14:45	6.84	6.70	6.72	6.75	2.96	170	110
14:50	6.78	6.65	6.70	6.71	2.98	170	110
14:55	6.82	6.70	6.79	6.77	2.95	170	110
15:00	6.73	6.76	6.68	6.72	2.97	170	110

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1. Resumen de caudal promedio en los sondajes

En el siguiente grafico se observa el caudal promedio de cada uno de los sondajes.

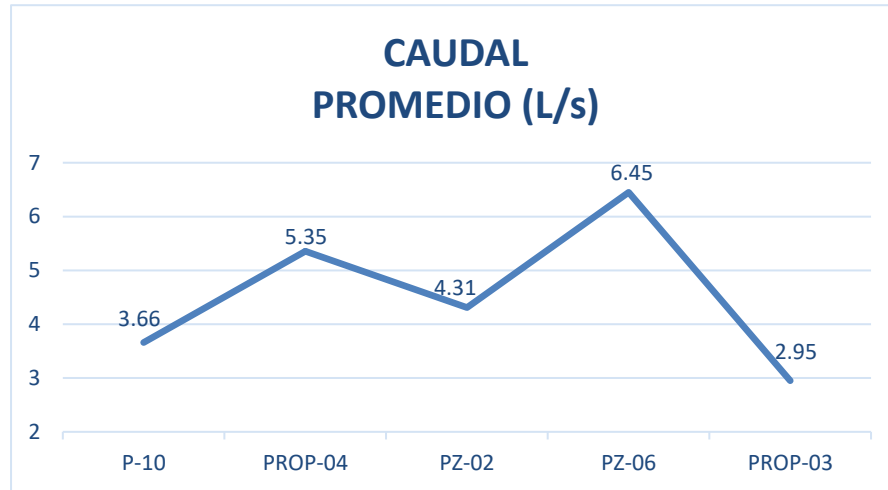


Figura 19: Diagrama del caudal promedio de sondajes.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Determinar que sondaje presenta el mayor volumen de agua

De lo expuesto anteriormente se determina que, el sondaje PZ-06 presenta un mayor rendimiento. El siguiente grafico se aprecia que mantiene un flujo de agua por sobre los 6 l/s. Por tal motivo es el ideal para instalar el piezómetro casa grande.

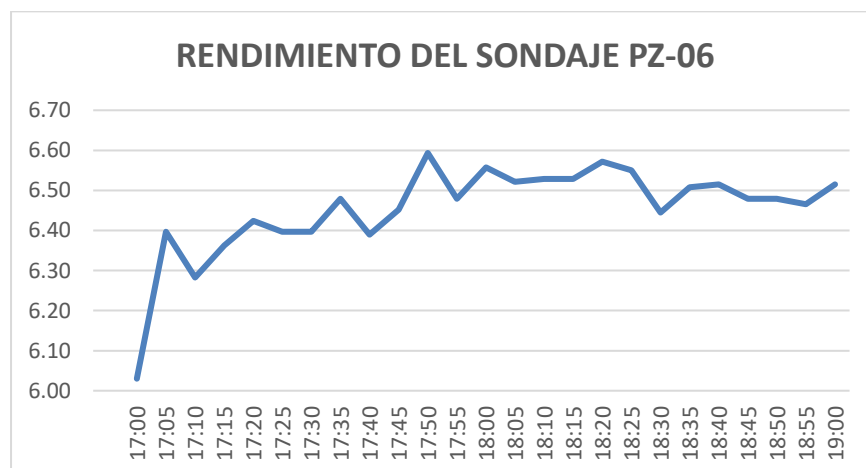


Figura 20: Diagrama de rendimiento del sondaje PZ-06

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Evaluar la recuperación del nivel de agua

Se realizó un control de recuperación en el sondaje PZ-06. En la siguiente tabla se muestra la variación del nivel de agua, el cual ascendió 3.96 metros para un tiempo de 70 minutos, así mismo se determinó el nivel estático a los 14.48 metros de profundidad.

Tabla 11:

Control de recuperación en el sondaje PZ-06.

Tiempo real (h/min/seg)	Tiempo de recuperación (min)	Nivel de ascenso de agua (m)
19:01:00	1,0	18.44
19:11:00	2,0	16.1
19:12:00	3,0	15.81
19:13:00	4,0	15.58
19:14:00	5,0	15.51
19:15:00	6,0	15.38
19:16:00	7,0	15.3
19:17:00	8,0	15.26
19:18:00	9,0	15.22
19:19:00	10,0	15.18
19:21:00	12,0	15.09
19:23:00	14,0	15.03
19:25:00	16,0	14.98
19:27:00	18,0	14.94
19:29:00	20,0	14.9
19:34:00	25,0	14.8
19:39:00	30,0	14.73
19:44:00	35,0	14.65
19:49:00	40,0	14.58
19:59:00	50,0	14.48
20:09:00	60,0	14.48

Fuente: Elaboración Propia.

En el siguiente grafico se muestra la recuperación de agua en el sondaje PZ-06, en el cual se deduce que fue una recuperación ligeramente rápida.

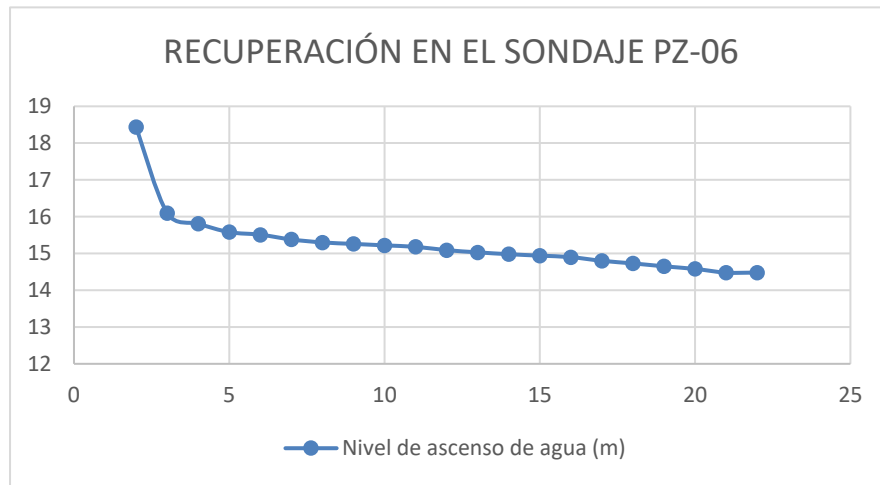


Figura 21: Recuperación en el sondaje PZ-06.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Chirme (2020) en su investigación identificó el nivel freático a los 17 m de profundidad el cual representa en promedio a la formación Yauri, por otra parte, Alvarado (2022) determinó una sola capa o unidad hidro estratigráfica en el acuífero fortaleza distrito de Paramonga. En nuestro caso, en el sondaje PZ-06 se identificó el nivel freático a los 14.4 metros de profundidad, así mismo, se observó en las muestras de roca tritura la presencia de agua a los 12 metros.

Ortega y Delgado (2021) elaboraron una columna litológica a partir de la recuperación de rock chips, además de eso Sebastian (2022) en su investigación afirma que, el método de perforación no afecta en los parámetros hidrogeológicos de un pozo. En nuestro caso la perforación RC contribuyó en la verificación de agua subterránea ya que en las muestras se pudo detectar la humedad. Por lo anterior, se corrobora que la perforación RC sirve de guía para la construcción de pozos.

Llano (2015) en su investigación obtuvo un caudal máximo de 35 l/s en el pozo N° 29 en el cantón Latacunga, así mismo, Chirme (2020) logró determinar un caudal límite de 8.93 l/s en un pozo de la mina antapacay, en esa misma línea, Diaz (2015) obtuvo un caudal máximo de 538.38 l/s en el pozo del valle del río Lurín. En la presente investigación se analizó 05 pozos que presentaron agua subterránea, de los cuales el que presentó un mayor volumen de agua fue el sondaje PZ-06 con un valor de 6.45 l/s.

En la figura 18, se puede apreciar la ubicación de los 08 diferentes puntos perforados en la unidad minera Shahuindo, y en **la tabla 5** se menciona que solo en 05 de ellos se encontró la existencia de agua subterránea y 03 fueron sondajes secos.

En la siguiente tabla se puede apreciar a que profundidad se encontró agua subterránea en cada sondaje y el caudal promedio para los sondajes con presencia de agua el cual se realizó mediante pruebas airlift (**Figura 19**). A partir de ello se determinó que el sondaje PZ-06 presenta el mayor volumen de agua subterránea (**Tabla 9**).

Tabla 12:

Detalle de los 8 sondajes.

SONDAJE	NIVEL DE AGUA (m)	CAUDAL DE AGUA (l/s)
PZ-03	sin agua	sin agua
PZ-05	sin agua	sin agua
P-10	72	3.66
PZ-04	sin agua	sin agua
PROP-04	66	5.35
PZ-02	102	4.31
PZ-06	12	6.45
PROP-03	126	2.95

Elaboración: Propia.

La figura 20 muestra el rendimiento del sondaje PZ-06 el cual mantiene un caudal por sobre los 6 l/s por lo que es el ideal para la instalación del piezómetro casa grande. Cabe mencionar que dicho piezómetro formará parte de una red de monitoreo de los niveles de agua, con el fin de que la mina drene el agua para ampliar las operaciones en el tajo.

La tabla 11 muestra la recuperación del sondaje PZ-06 y se obtuvo un nivel de ascenso de agua de 3.96 metros durante el tiempo de 70 minutos, en la prueba también se determinó el nivel estático a los 14.48 metros de profundidad.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la presencia de agua subterránea en el área mediante el método de perforación RC, para ello se programó perforar en 08 puntos diferentes, encontrando la presencia de agua subterránea solo en 05 de ellos: sondaje P-10 con profundidad de 120 metros presento agua subterránea desde los 72 metros, sondaje PROP-04 con profundidad de 150 metros presento agua desde los 66 metros, PZ-02 con profundidad de 150 metros presento agua desde los 102 metros, sondaje PZ-06 con profundidad de 70 metros presento agua desde los 12 metros y PROP-03 con profundidad de 170 metros presento agua desde los 126 metros.
- Se realizó las pruebas airlift con el fin de determinar el caudal de agua presente en cada sondaje, obteniendo los siguientes datos: el sondaje P-10 tuvo un caudal promedio de 3.66 L/s, el sondaje PROP-04 tuvo un caudal promedio de 5.35 L/s, el sondaje PZ-02 tuvo caudal promedio de 4.31 L/s, el sondaje PZ-06 tuvo un caudal promedio de 6.45 L/s, para culminar con el sondaje PROP-03 tuvo caudal promedio de 2.95 L/s.
- Se determinó que el sondaje PZ-06 presentó el mejor rendimiento con un valor de 6.45 l/s en donde se pudo verificar la presencia de agua desde los 12 metros de profundidad y el nivel estatico se encuentra a los 14.48 metros de profundidad. Por lo tanto, en este sondaje se instalará el piezómetro casa grande.
- Se evaluó la recuperación de agua en el sondaje PZ-06 y se obtuvo nivel de ascenso de agua de 3.96 metros en un tiempo de 70 minutos, así mismo se determinó el nivel estático a los 14.48 metros de profundidad.

REFERENCIAS

- Alvarado, C. (2022). *Investigación hidrogeológica para la obtención del caudal óptimo de explotación en el acuífero fortaleza*. (Tesis) Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Arévalo, M. (2017). *Propuesta de diseño de construcción, acondicionamiento de un pozo de agua y su incidencia en la vulnerabilidad del acuífero costero en manglaralto*. (Magister). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Arias, J.; Gonzales, P. Schoeler. (2015). *Exploración por sondaje con diamantina y aire reverso*. Universidad Tecnológica de Chile (INACAP). Renca, Chile.
- Beltrán, C. & Vintimilla, J. (2014). *Estudio de la instrumentación a utilizar en las presas de tierra del proyecto Pacalori*. (Tesis). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Cabrera, P. & Sanabria, J. (2015). *Instrumentación geotécnica para monitorear el nivel freático y calidad del agua con sensores eléctricos en piezómetros de tubo abierto*. (Tesis). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Carmona, J. (2021). *Simulación fluidodinámica de una bomba airlift*. (Tesis). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. 2 ed. Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Chirme, E. (2020). *Estimación de parámetros hidráulicos mediante ensayos de recuperación de air-lift en taladros de exploración aplicado en la Mina Antapacay*. (Tesis). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

- Cisneros, H. (2019). *Investigación geotécnica e instrumentación para el diseño de construcción e instalación de piezómetros y pozos de drenaje en la mina Pierina año 2019*. (Tesis). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Collazo, M. & Montaña, J. (2012). Manual de agua subterránea. Denad Internacional S.A.
- Díaz, P. (2015). *Modelamiento hidrogeológico para estimar el caudal óptimo de la parte baja del acuífero del Valle del Rio Lurín*. (Tesis). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Domínguez, J. & Carrillo J. (2007). El agua subterránea como elemento de debate en la historia de México. *México en tres momentos, 1910-2010*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Carrillo-Rivera/publication/272158118_El_agua_subterranea_como_elemento_de_debate_e_n_la_historia_de_Mexico/links/54deb26b0cf2953c22afa0ef/El-agua-subterranea-como-elemento-de-debate-en-la-historia-de-Mexico.pdf
- Gallupe, J. (2018). *Consideraciones técnicas que influyen en la construcción de pozos de agua y piezómetros en la Minera Barrick Misquichilca SAC. 2014*. (Tesis). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Herrera, J. & Castilla, J. (2012). Utilización de técnicas de sondeos en captaciones de agua. Laboratorio de tecnologías mineras. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.10518>
- Ibañez, J. & Sandoval, C. (2015). *Diseño de sistema de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana*. (Tesis). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

Kruse, E. (2015). Agua recurso vital, uso del agua subterránea y desarrollo sostenible.

Núcleos, 2, 30-36. Recuperado de: <http://www.unnoba.edu.ar/wp-content/uploads/2015/12/2-Agosto-2015.pdf>

Lemara (2020, enero 14). ¿Qué es el nivel freático del suelo?. Recuperado de:

<https://www.lemara.es/que-es-nivel-freatico-suelo/>

Llano, J. (2015). *Evaluación de la explotación del caudal de agua subterránea en pozos someros y profundos en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, periodo 2013-2014*. (Tesis). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga – Ecuador.

López, J., Fornés, J., Ramos, G. & Villarroya, F. (2009). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Mantilla, V. (2019). *Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina*. (Tesis). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

Marchán, J. (2020). *Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua mediante pozo de reemplazo – irhs-5- illescas 07 en el sector Illesca, Distrito y Provincia Sechura, Piura – 2019*. (Tesis). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Novak, P., Nalluri, C. & Moffat, A. (2001). Estructuras hidráulicas. 2 ed. McGraw-Hill Interamericana S.A.

Oblitas, J. (2019). *Propuesta de diseño de pozo tubular aplicando la técnica de testificación geofísica realizando sondeo eléctrico para incrementar la disponibilidad hídrica en el sector de Otopongo – Barranca, Lima, Perú*. (Tesis). Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú.

- Ordoñez, J. (2011). Cartilla técnica: aguas subterráneas – acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11537/25436>
- Ortega, R. & Delgado, J. (2021). *Evaluación hidrogeológica para captación de aguas subterráneas mediante perforación de pozo tubular en la A.P.V. Nuevo Amanecer – comunidad campesina y Yanama Ayllomayo Distrito Zurite, Provincia Anta, Región Cusco*. (Tesis). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Perez, I. (2013). *Determinación de áreas favorables para la perforación de pozos de agua, mediante la aplicación de estudios hidrogeológicos integrales, Santiago de Huari – Oruro*. (Tesis). Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Pulido, A. (2007). *Nociones de hidrología para ambientólogos*. Editorial Universidad de Almería.
- Reckmann, O. (2009). Pozos de captaciones de aguas subterráneas. San Fernando: Boletín Instituto de investigaciones agropecuarias. 190. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7277>
- Sebastian, L. (2022). *Influencia del método de perforación y estructura de pozos tubulares durante prueba de aforo de agua, Carapongo, Lurigancho, Lima – 2021*. (Tesis). Universidad Cesar Vallejo, Callao, Perú.
- Solís, R. (2014). *Aprovechamiento de las fuentes de agua subterránea en la zona norte del cantón Balzar guayas – Ecuador*. (Tesis). Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Talledo, L. (2015). *Perforación RCD herramienta auxiliar para el reconocimiento e interpretación de controles geológicos de mineralización en el yacimiento epitermal*

de alta sulfuración – minas Pampa Huamachuco. (Tesis). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Tovar, J. (2007). El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. Obtenido de: https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/cursos_cierre_minas/02_T%C3%A9cnico/02_Hidrolog%C3%ADa/TecHidro-L2_Aguas%20Subterr%C3%A1neas.pdf

Vélez, M. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas. *Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.*

ANEXOS

Anexo 1:

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de investigación:	Determinación del caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en U.M. Shahuindo 2022.		
Línea de investigación:	tecnologías Emergentes		
El instrumento de medición pertenece a la variable:	INDEPENDIENTE		

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "X" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable de estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	✓		
2	¿En el instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	✓		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	✓		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de investigación?	✓		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	✓		
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	✓		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	✓		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	✓		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	✓		

Sugerencias: TODO CONFORME

Nombre completo: ZEGARRA FLORES, LUIS FRANCO
DNI: 2964482
Profesión: ING. METALURGICO
Grado académico: COLEGIADO



 Firma del evaluador

Figura 22: Matriz para evaluación de expertos

Anexo 2:

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de investigación:	Determinación del caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en U.M. Shahuindo 2022.
Línea de investigación:	tecnologías Emergentes
El instrumento de medición pertenece a la variable:	<i>Independiente</i>

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "X" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable de estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿En el instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias: *Ninguna*

Nombre completo: *Altamirano Marínos Bryan Jhael*
DNI: *70 29 42 76*
Profesión: *Ing. de Minas*
Grado académico: *Colaborador*


Firma del evaluador

Figura 23: Matriz de evaluación de expertos 2

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de investigación:	Determinación del caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en U.M. Shahuindo 2022.
Línea de investigación:	tecnologías Emergentes
El instrumento de medición pertenece a la variable:	[NO DEPENDIENTE]

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "X" en las columnas de SI o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable de estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SI	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿En el instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Nombre completo: ROSAS ALTAMIRANO DEYVI RUBEN
 DNI: 70283067
 Profesión: INGENIERÍA CIVIL
 Grado académico: COLGADO


 Firma del evaluador

Figura 24: Matriz de evaluación de expertos 3

Anexo 4:

Tabla 13:

Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Las pruebas airlift permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo 2022?	H1: Las pruebas airlift permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo.	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande mediante perforación RC en la U.M. Shahuindo 2022.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Perforación de aire reverso (RC).</p> <p>Variable Independiente:</p> <p>Caudal de un pozo.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada experimental con enfoque cuantitativa</p> <p>Técnica:</p> <p>Observación. Análisis documental</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Ficha de registros de datos. Registro fotográfico.</p>	<p>Población:</p> <p>La población de la presente investigación está conformada por todos los sondajes de aire reverso de la U.M. Shahuindo, los cuales fueron realizados como parte de la búsqueda de agua subterránea.</p>
		<p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar la presencia de agua en el área mediante perforaciones de aire reverso. • Evaluar el caudal de agua subterránea encontrada en cada sondaje mediante pruebas airlift. 			

H0: Las pruebas airlift no permitirán determinar el caudal de un pozo para instalación de piezómetro casa grande en la U.M. Shahuindo.

- Determinar que sondaje presenta el mayor volumen de agua para instalación del piezómetro casa grande.
- Evaluar la recuperación de agua en el sondaje con mayor volumen de agua.

Análisis de datos: Muestra:

Microsoft Excel

Se considero 8 sondajes desarrollados con perforación de aire reverso:

Sondaje PZ-3 con profundidad de 162 metros.
Sondaje PZ-5 con profundidad de 150 metros.
Sondaje P-10 con profundidad de 120 metros.
Sondaje PZ-4 con profundidad de 150 metros
Sondaje PROP-4 con profundidad de 150 metros.
Sondaje PZ-2 con profundidad de 150 metros.
Sondaje PZ-6 con profundidad de 70 metros.
Sondaje PROP-3 con profundidad de 170 metros.

<p>Variable Dependiente:</p>	<p>Este sistema se caracteriza por utilizar tuberías de doble pared y aire como fluido de barrido, en donde el diámetro interior marcará el tamaño y volumen del detrito, en un inicio se obtuvo muestras con una gran precisión ya que se usaron brocas cilíndricas tónicas</p>	<p>Crea pequeños fragmentos de roca (chips) en lugar de un testigo sólido (core o núcleo). Presenta un tiempo de perforación relativamente corto y requiere de un equipo mucho más grande, incluyendo un compresor de aire de gran capacidad.</p>	<p>Terreno Broca Fuerza de empuje RPM Compresor de aire</p>	<p>características geológicas del terreno. Dureza de la roca. Diámetro de perforación.</p>	<p>Ordinal</p>
-------------------------------------	--	---	---	--	----------------

Anexo 11: Registro fotográfico de las muestras de perforación RC



Figura 30: Muestras húmedas de roca triturada

Anexo 12: Esquema de instalación de PZ-06

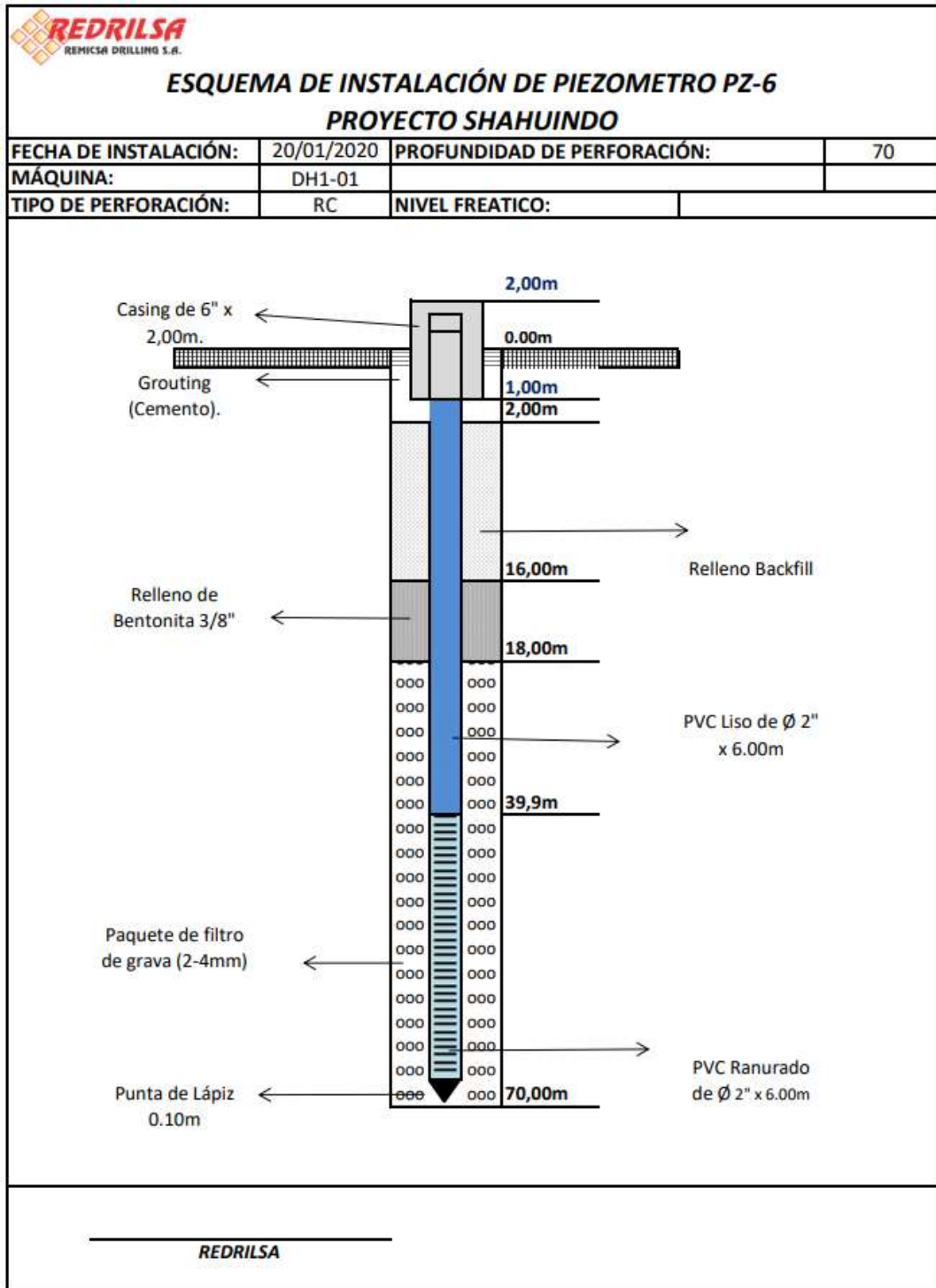


Figura 31: Esquema de instalación de piezómetro.

Anexo 13: Acta de conformidad piezómetro PZ-06



**"Perforando no tenemos límites, llegamos
Hasta donde Usted no imagina."**

ACTA DE CONFORMIDAD

Ciente: PAN AMERICAN SILVER PERU S.A.C.

UNIDAD SHAHUINDO

Contratista: REMICSA DRILLING S.A. (REDRILSA)

Mediante la presente Acta, el Cliente declara estar conforme, tanto con la calidad de los materiales instalados, así como con la calidad de los trabajos de perforación realizados para la instalación del Piezómetro (PZ-6), en la Unidad Shahuindo.

Se indica que los trabajos se realizaron cumpliendo los estándares de calidad, seguridad y medio ambiente de la unidad SHAHUINDO, habiéndose cumplido dentro de los plazos establecidos. La perforación e instalación del pozo se ejecutaron de acuerdo a las especificaciones técnicas brindadas por el Cliente.

Por parte, de REDRILSA se ha cumplido en dejar en condiciones óptimas de acuerdo a las exigencias de la unidad SHAHUINDO respecto al cierre de pozas de sedimentación, eliminación de residuos sólidos y líquidos.

Se expide la presente en señal de conformidad, con fecha 20 de Enero del 2022.

Jefe de Gestión Ambiental
Cia. Pan American Silver Peru S.A.C.



Misael Solis Rios
JEFE DE PROYECTO
REDRILSA

Sr. Misael Solis Rios
Jefe de Proyecto

Figura 32: Acta de conformidad de piezómetro PZ-06

Anexo 14: Detalle de habilitación del piezómetro PZ-06.

SECCION TUBERIA		TRAMO	Longitud del tubo de producción	Regresivo	Diametro (Pulgadas)	Material	SECCION RELLENO		Empaque	Cantidad
0	0.00	0.00	-	170.00						
1	0.00	0.10	0.1	169.90	Punta de Lapiz	70	18	Grava		46 bolsas
2	0.10	6.10	6	163.90	PVC Ranurado					
3	6.10	12.10	6	157.90	PVC Ranurado					
4	12.10	18.10	6	151.90	PVC Ranurado	2	0	Grouting		3 bolsa de cemento / 1 bolsa de bentonita
5	18.10	24.10	6	145.90	PVC Ranurado	18	16	Bentonita		02 bolsas
6	24.10	30.10	6	139.90	PVC Ranurado					
7	30.10	36.10	6	133.90	PVC Liso					
8	36.10	42.10	6	127.90	PVC Liso					
9	42.10	48.10	6	121.90	PVC Liso					
10	48.10	54.10	6	115.90	PVC Liso					
11	54.10	60.10	6	109.90	PVC Liso	OBSERVACIONES				
12	60.10	66.10	6	103.90	PVC Liso					
13	66.10	72.10	6	97.90	PVC Liso					

SUPER. OPERACIONES	JEFE DE OBRA: Misael Solis Rios	SUP. PAN AMERICAN SILVER:
NOMBRE: Jorge Golcochea / Leoncio Chilon	NOMBRE: Misael Solis Rios	NOMBRE: Jorge Amaya
 	 Misael Solis Rios JEFE DE PROYECTO REDRILSA	
FECHA: 20/01/2022	FECHA: 20/01/2022	FECHA: 20/01/2022

Figura 33: Detalle de habilitación del piezómetro PZ-06

Anexo 15: Protocolo de calidad de perforación del piezómetro PZ-06.



		SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN					
		PROTOCOLO DE CALIDAD DE PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO					
Codigo:		RED-OPF-F-005	Versión:		05		
Área:		GESTIÓN AMBIENTAL		Vigencia:		20/01/2022	
SUPERVISOR OPERACIONES REDRILSA	LEONCIO CHILÓN / JORGE GARCOCHEA	PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE BOMBEO				
JEFE DE PROYECTO POZOS DE AGUA REDRILSA	MISAELO SOLIS RIOS	MÁQUINA	DRILLTECH DHI-1		CLIENTE	PAN AMERICAN SILVER PERU SAC.	
SUPERVISORES PAN AMERICAN SILVER PERU SAC.	ING. JORGE AMAYA	POZO/PLATAFORMA	PZ-6		FECHA	20/01/2022	
I. MATERIALES							
ELEMENTO A CONTROLAR	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	CONDICIÓN					DESCRIPCIÓN
		SI	NO	NA	N° RFI	AC	
1. Especificaciones de compra							
1.1 Equipos y Accesorios de Perforación	Equipos y Accesorios de Perforación, poseen certificados de operatividad.	x					Ver 5.0 Certificado de Operatividad
II. PERFORACIÓN DE PIEZÓMETRO							
ELEMENTO A CONTROLAR	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	CONDICIÓN					DESCRIPCIÓN
		SI	NO	NA	N° RFI	AC	
1. Especificaciones de ubicación, dirección e inclinación de Perforación del Piezómetro							
1.1 Ubicación del Piezómetro	De acuerdo a la especificación del Cliente:	x					NORTE: 9159341 ESTE: 809021 COTA: 2804
1.2 Inclinación del Piezómetro	De acuerdo a la especificación del Cliente:	x					90°
2.1 Método de Perforación							
2.1 Método de Perforación	Aire Reverso (RC)	x					
2.2 Dosificación y pruebas de fluidos de perforación							
2.2 Dosificación y pruebas de fluidos de perforación				x			No se utilizó fluido de perforación

Figura 34: Protocolo de calidad de perforación del piezómetro PZ-06