

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA
PARA MONITOREAR EL NIVEL
FREÁTICO Y CALIDAD DEL AGUA
CON SENSORES ELÉCTRICOS EN
PIEZÓMETROS DE TUBO ABIERTO**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. Ing. CABRERA TRUJILLO, PAUL HUGO.
Bach. Ing. SANABRIA PÉREZ, JUAN SANDINO.**

**ASESOR: Mg. Ing. Marco Antonio Hernández
Aguilar.**

**LIMA – PERÚ
AÑO: 2015**

Dedicatoria

A mis padres y hermanos
quienes siempre me
apoyaron incondicionalmente
en todo momento.

Paul Cabrera Trujillo

Dedicatoria

A mi padre Juan y a mi madre Luz, a mis hermanos Milton, Enrique, Paul y Luz María, a mis abuelos y demás familiares, que siempre me motivan a alcanzar y cumplir mis metas.

Juan Sanabria Pérez

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Descripción de la Investigación	3
1.1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.1.2 Formulación del problema	3
1.1.3 Objetivos de la investigación	4
1.1.4 Justificación e importancia de la investigación	4
1.1.5 Antecedentes de la investigación	5
1.1.6 Formulación de hipótesis	6
1.1.7 Variables	6
1.1.8 Operacionalización de variables	6
1.2 Metodología	7
1.2.1 Tipo y nivel de la investigación	7
1.2.2 Método y diseño de la investigación	7
1.2.3 Universo, población y muestra	7
1.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
CAPÍTULO II: PIEZÓMETROS	9
2.1 Tipos de Piezómetros	10
2.1.1 Piezómetro abierto	10
2.1.2 Piezómetros Hidráulicos	14
2.1.3 Piezómetros Neumáticos	15
2.1.4 Piezómetros de Cuerda Vibrante	16
2.1.5 Piezocono	17
2.2 Tipos de configuración de instalación de Piezómetros	18
2.3 Elección del tipo de piezómetro	19
2.4 Instalación de Piezómetros	21
2.5 Mantenimiento de Piezómetros	26
2.5.1 Objetivos del mantenimiento de piezómetros	26
2.5.2 Procedimiento para la limpieza y drenaje de Piezómetros	26
2.6 Piezómetro abierto con sensor automático	28

2.6.1 Sensor Levellogger Edge	29
2.6.2 Sensor Barologger Edge	30
2.6.3 Sensor LTC Junior	30
CAPÍTULO III: INFORMACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES DE OPERACIÓN EN ESTUDIO	32
3.1 Unidad de operación “Atocongo”	32
3.1.1 Ubicación y acceso	32
3.1.2 Fisiografía	34
3.1.3 Geología	34
3.1.4 Sismicidad	35
3.1.5 Suelos	35
3.1.6 Clima y Meteorología	36
3.1.7 Hidrología	37
3.1.8 Hidrogeología	37
3.2 Unidad de operación “Conchan”	38
3.2.1 Ubicación y acceso	38
3.2.2 Fisiografía	39
3.2.3 Geología	40
3.2.4 Sismicidad	41
3.2.5 Suelos	41
3.2.6 Clima y Meteorología	41
3.2.7 Hidrología	41
3.2.8 Hidrogeología	42
3.3 Unidad de operación “Las Dunas”	42
3.3.1 Ubicación y acceso	42
3.3.2 Fisiografía	43
3.3.3 Geología	44
3.3.4 Sismicidad	44
3.3.5 Suelos	44
3.3.6 Clima y Meteorología	45
3.3.7 Hidrología	46
3.3.8 Hidrogeología	46

3.4 Unidad de operación “Las Hienas”	47
3.4.1 Ubicación y acceso	47
3.4.2 Fisiografía	48
3.4.3 Geología	49
3.4.4 Suelos	49
3.4.5 Sismicidad	50
3.4.6 Clima y Meteorología	50
3.4.7 Hidrología	51
3.4.8 Hidrogeología	51
3.5 Unidad de operación “Cristina”	52
3.5.1 Ubicación y acceso	52
3.5.2 Fisiografía	53
3.5.3 Geología	55
3.5.4 Suelos	55
3.5.5 Sismicidad	56
3.5.6 Clima y Meteorología	56
3.5.7 Hidrología	57
3.5.8 Hidrogeología	58
CAPÍTULO IV: MONITOREO DEL NIVEL FREÁTICO	60
4.1 Descripción del Nivel Freático	60
4.2 Ubicación de las estaciones de Monitoreo	63
4.3 Parámetros de campo medidos	70
4.4 Equipos utilizados	71
4.5 Metodología para la determinación del Nivel Freático	72
CAPÍTULO V: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	76
5.1 Calidad química del Agua Subterránea	76
5.2 Contaminación del agua subterránea	77
5.3 Calidad del Agua Natural	78
5.4 Parámetros de campo medidos	79
5.5 Metodología para la determinación de parámetros de campo	80
5.6 Parámetros de ensayo de laboratorio	81
5.7 Metodología para la determinación de ensayos en laboratorio	82

5.6 Equipos de Laboratorio	83
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	85
6.1 Nivel Freático	85
6.1.1 Unidad de operación "Atocongo"	85
6.1.2 Unidad de operación "Conchan"	91
6.1.3 Unidad de operación "Las Dunas"	95
6.1.4 Unidad de operación "Las Hienas"	100
6.1.5 Unidad de operación "Cristina"	103
6.2 Calidad del Agua Subterránea	108
6.2.1 Unidad de operación "Atocongo"	108
6.2.2 Unidad de operación "Conchan"	110
6.2.3 Unidad de operación "Las Dunas"	111
6.2.4 Unidad de operación "Las Hienas"	112
6.3 Contrastación de hipótesis	114
6.4 Discusión de resultados	115
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	122
Anexo 1: Matriz de consistencia	122
Anexo 2: Operacionalización de variables	124
Anexo 3: Registros de Nivel Freático	125
Anexo 4: Resultados de análisis químico de agua	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.01: Operacionalización de variables.	7
Tabla N° 3.01: Coordenadas UTM de la Unidad "Atocongo".	33
Tabla N° 3.02: Coordenadas UTM de la Unidad "Conchan".	38
Tabla N° 3.03: Coordenadas UTM de la Unidad "Las Dunas".	42
Tabla N° 3.04: Coordenadas UTM de la Unidad "Las Hienas".	47
Tabla N° 3.05: Coordenadas UTM de la Unidad "Cristina".	52
Tabla N° 4.01: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad "Atocongo".	63
Tabla N° 4.02: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad "Conchan".	65
Tabla N° 4.03: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad "Las Dunas".	66
Tabla N° 4.04: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad "Las Hienas".	68
Tabla N° 4.05: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad "Cristina".	69
Tabla N° 5.01: ECA-Agua, categorías y subcategorías.	78
Tabla N° 5.02: Normas de Referencia, Parámetros Físico-Químicos.	80
Tabla N° 5.03: Parámetros de ensayos en laboratorio.	81
Tabla N° 5.04: Colección y Preservación de muestras.	82
Tabla N° 5.05: Métodos de Ensayo en laboratorio.	83
Tabla N° 5.06: Equipos de Laboratorio.	84
Tabla N° 6.2.1: Resultados Físico-Químico, Unidad "Atocongo".	109
Tabla N° 6.2.2: Resultados Físico-Químico, Unidad "Conchan".	111
Tabla N° 6.2.3: Resultados Físico-Químico, Unidad "Las Dunas".	112
Tabla N° 6.2.4: Resultados Físico-Químico, Unidad "Las Hienas".	113
Tabla N° 6.3.1: Contrastación de Hipótesis.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1.1: Piezómetro de Casagrande (Piezómetro Abierto).	13
Figura N° 2.1.2: Esquema Piezómetro Hidráulico (Piezómetro Cerrado).	14
Figura N° 2.1.3: Piezómetro neumático.	15
Figura N° 2.1.4: Piezómetro de cuerda vibrante.	16
Figura N° 2.1.5: Piezocono.	18
Figura N° 2.2.1: Configuración de Piezómetros en una estación.	19
Figura N° 2.6.1: Esquema de adquisición de datos del sensor automático.	28
Figura N° 2.6.2: Gráficos obtenidos del programa Solinst Levellogger.	29
Figura N° 2.6.3: Sensor Levellogger Edge 3001.	29
Figura N° 2.6.4: Sensor Barologger Edge 3001.	30
Figura N° 2.6.5: Sensor LTC Junior 3001.	30
Figura N° 2.6.6: Esquema de funcionamiento del sensor automático.	31
Figura N° 3.1.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Atocongo”.	33
Figura N° 3.2.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Conchan”.	39
Figura N° 3.3.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Las Dunas”.	43
Figura N° 3.4.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Las Hienas”.	48
Figura N° 3.5.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Cristina”.	53
Figura N° 4.1.1: Ciclo Hidrológico.	61
Figura N° 4.1.2: Distribución y clasificación del sistema por contenido de agua.	61
Figura N° 4.1.3: Esquema de identificación de zonas no saturadas y saturadas.	62
Figura N° 4.1.4: Esquema de un piezómetro de tubo abierto.	62
Figura N° 4.2.1: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Atocongo”.	64
Figura N° 4.2.2: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Conchan”.	65
Figura N° 4.2.3: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Las Dunas”.	67
Figura N° 4.2.4: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Las Hienas”.	68
Figura N° 4.2.5: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Cristina”.	70
Figura N° 4.3.1: Medición del Nivel Freático.	71
Figura N° 4.4.1: Limnómetro eléctrico Portátil.	71
Figura N° 5.1.1: Proceso de contaminación por infiltración.	77

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 2.4.1: Trabajos de perforación.	22
Foto N° 2.4.2: Habilidad de tubo de PVC.	24
Foto N° 2.4.3: Instalación de tubo de PVC en zona perforada.	24
Foto N° 2.4.4: Verificación de profundidad de perforación.	25
Foto N° 2.4.5: Colocación de lechada de cemento con bentonita.	25
Foto N° 2.4.6: Piezómetro instalado.	26
Foto N° 2.5.1: Expulsión de agua con aire durante 10 minutos.	27
Foto N° 4.5.1: Verificación de los piezómetros.	72
Foto N° 4.5.2: Proceso de extracción del tubo saca-muestras.	73
Foto N° 4.5.3: Verificación de la medida obtenida con el limnómetro.	73
Foto N° 4.5.4: Medición del nivel detectado por el limnómetro eléctrico.	74
Foto N° 4.5.5: Verificación de la medida obtenida con el limnómetro.	74
Foto N° 4.5.6: Anotación y comparación de datos obtenidos.	75
Foto N° 5.3.1: Extracción de muestras de agua del piezómetro.	80
Foto N° 5.3.2: Realización de ensayos físico-químicos en campo.	81
Foto N° 5.3.3: Verificación de datos y registro de resultados obtenidos en campo con el Multiparámetro WTW, modelo 350i.	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°6.01: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad "Atocongo".	86
Gráfico N°6.02: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad "Atocongo".	86
Gráfico N°6.03: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el piezómetro 04, Unidad "Atocongo".	87
Gráfico N°6.04: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad "Atocongo".	88
Gráfico N°6.05: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad "Atocongo".	88
Gráfico N°6.06: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 07, Unidad "Atocongo".	89
Gráfico N°6.07: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 08, Unidad "Atocongo".	90
Gráfico N°6.08: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 10, Unidad "Atocongo".	90
Gráfico N°6.09: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 09 piezómetros de la Unidad "Atocongo".	91
Gráfico N°6.10: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01-A y 01-B, Unidad "Conchan".	92
Gráfico N°6.11: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02-A y 02-B, Unidad "Conchan".	92
Gráfico N°6.12: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03-A y 03B, Unidad "Conchan".	93
Gráfico N°6.13: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 04-A y 04-B, Unidad "Conchan".	94
Gráfico N°6.14: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05A y 05B, Unidad "Conchan".	94
Gráfico N°6.15: Variación del nivel freático respecto al tiempo en los 10 Piezómetros de la Unidad "Conchan".	95
Gráfico N°6.16: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01A y 01B, Unidad "Las Dunas".	96
Gráfico N°6.17: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02-A y 02-B, Unidad "Las Dunas".	96
Gráfico N°6.18: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad "Las Dunas".	97
Gráfico N°6.19 Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad "Las Dunas".	98
Gráfico N°6.20: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 09A y 09B, Unidad "Las Dunas".	98
Gráfico N°6.21: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 10A y 10B, Unidad "Las Dunas".	99

Gráfico N°6.22: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 10 Piezómetros de la Unidad “Las Dunas”.	100
Gráfico N°6.23: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad “Las Hienas”.	100
Gráfico N°6.24: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad “Las Hienas”.	101
Gráfico N°6.25: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03, Unidad “Las Hienas”.	102
Gráfico N°6.26: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 03 Piezómetros de la Unidad “Las Hienas”.	102
Gráfico N°6.27: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad “Cristina”.	103
Gráfico N°6.28: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad “Cristina”.	104
Gráfico N°6.29: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03, Unidad “Cristina”.	104
Gráfico N°6.30: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad “Cristina”.	105
Gráfico N°6.31: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad “Cristina”.	105
Gráfico N°6.32: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 07, Unidad “Cristina”.	106
Gráfico N°6.33: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro PP5-01, Unidad “Cristina”.	107
Gráfico N°6.34: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 07 Piezómetros de la Unidad “Cristina”.	107

RESUMEN

La presente tesis titulada “Instrumentación geotécnica para monitorear el nivel freático y calidad del agua con sensores eléctricos en piezómetros de tubo abierto”, planteará las nuevas propuestas y actividades que se realizan para el monitoreo de las aguas subterráneas, que tiene como objetivo principal preservar los recursos hídricos y el ecosistema.

La obtención de la serie de datos del nivel freático, permitirá conocer las variaciones bruscas de los niveles de agua durante el tiempo de operación; a su vez nos permitirá determinar si existen flujos de agua que alteren el comportamiento del mismo. Además en función a la información obtenida de los resultados de los ensayos físico-químicos y de los resultados de los ensayos de determinación de metales pesados realizados en laboratorios. Estos indicadores fueron comparados y nos permitieron conocer cuál es el estado de las aguas subterráneas en el momento de su evaluación.

La metodología empleada es del tipo explicativa y cuantitativa, el diseño de la investigación será descriptivo, observacional y de corte longitudinal.

Por ello la presente tesis pretende establecer una metodología de monitoreo de aguas subterráneas, que permita mejorar el comportamiento ambiental de las zonas de operación de una empresa dedica a la explotación de materia prima para el sector construcción; por lo cual se procesaron parámetros asociados a los aspectos ambientales establecidos en las herramientas de gestión y la legislación ambiental aplicable.

Los resultados obtenidos respecto al nivel freático permitieron establecer aquellas épocas de incremento y disminución de los niveles de agua; además se lograron identificar posibles focos de contaminación del agua subterránea, presente en el área de influencia de las unidades de operación de una empresa cementera, concluyendo con la aceptación de las hipótesis planteadas.

Palabras claves:

Nivel freático – Sensor eléctrico – Piezómetro – Agua subterránea.

ABSTRACT

This thesis entitled as "Geotechnical instrumentation to monitor the phreatic level and water quality sensors in electrical piezometers open tube", raise new proposals and activities undertaken for monitoring groundwater, whose main objective is to preserve the water resources and the ecosystem.

Obtaining the data series of the phreatic level, will reveal the abrupt changes in water levels during the time of operation; in turn will allow us to determine if water flows that alter behavior of the same. Also, according to information obtained from the results of the physicochemical and the results of tests of heavy metal determination tests conducted in laboratories. These indicators were compared and let us know what the status of groundwater at the time of evaluation.

The methodology used is the explicative and quantitative type, the research design is descriptive and longitudinal.

Therefore this thesis aims to establish a methodology for groundwater monitoring, which improves environmental performance of operational areas of a company engaged in the exploitation of raw materials for construction sector; whereby parameters associated with the environmental aspects set out in the management tools and the applicable environmental legislation is processed.

The results regarding the phreatic level allowed to establish those periods of rising and falling water levels, they were also able to identify potential sources of groundwater contamination present in the area of influence of the operating units of a cement company, concluding with the acceptance of the hypotheses.

Keywords:

Phreatic level- electric sensor - Piezometer - Groundwater.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de instrumentación geotécnica referente al monitoreo del nivel freático y calidad del agua subterránea, que se vienen ejecutando en nuestro país, en la actualidad son realizadas por las empresas mineras, cementeras y petroleras, que en cumplimiento de las normas ambientales nacionales hacen uso de estos sistemas de control y monitoreo.

Los instrumentos de monitoreo de mayor uso en nuestro país son: los piezómetros de tubo abierto o los de cuerda vibrante. Estos presentan inconvenientes en los trabajos de ampliación o etapas de recrecimiento y en las zonas de almacenamiento o de explotación, por el motivo que no es posible aumentar la línea de inspección continuando con el mismo sistema de instrumentación, además de estar propensos a dañarse por interferir con las maquinarias de construcción empleadas en las diferentes actividades de operación.

En los trabajos de instrumentación con piezómetros es importante tomar en cuenta la seguridad durante los procesos constructivos, el funcionamiento y mantenimiento que se dan a estos sistemas de medición. Aquí la instrumentación geotécnica cumple un papel importante, ya que mediante la recolección de datos por monitoreo se podrá obtener información confiable para alertar o prevenir cualquier situación de riesgo existente en las zonas de operación. Por lo tanto en esta investigación se planteará los procesos y pasos necesarios para obtener una base de datos a partir de los requerimientos solicitados por las entidades que fiscalizan y salvaguardan los recursos hídricos y el ecosistema.

El objetivo principal de esta investigación es el de verificar mediante el uso de sensores eléctricos los niveles de agua presentes en las zonas de emplazamiento de las unidades de operación de una empresa cementera y además obtener los parámetros físico-químico e identificar aquellos metales pesados presentes en el agua extraída de los piezómetros de tubo abierto.

La estructura de la presente investigación constará de seis capítulos.

La primera parte consiste en presentar los procedimientos y metodología empleada, que nos permitió identificar y definir los problemas, establecer los objetivos, la justificación e importancia de la presente investigación.

El segundo capítulo abarca en sí, toda la información referente a los piezómetros desde los tipos de piezómetros, configuración de instalación y el proceso constructivo para la instalación de los mismos, así mismo definimos y explicamos las ventajas del elemento denominado sensor automático, que se encuentra instalado en uno de los piezómetros analizados en esta tesis.

El tercer capítulo describe las condiciones de sitio de la zona de estudio, entre las que se mencionan las características geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, sismicidad y clima, de cada unidad de operación.

Luego en el cuarto y quinto capítulo se explica la metodología para la determinación de los parámetros que nos permita obtener el nivel freático y definir las condiciones del agua encontrada en las zonas de monitoreo, si estas cumplen con los parámetros establecidos por las entidades competentes.

Por ultimo en el sexto capítulo se realizó el análisis, interpretación y discusión de resultados de los datos obtenidos en campo, teniendo como resultado conclusiones y recomendaciones que se presentaron durante la realización de la tesis.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la Investigación

1.1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, el monitoreo geotécnico relacionado a los niveles y calidad del agua subterránea, sobre todo en nuestro país, no están cumpliendo con las expectativas esperadas en las empresas cementeras, petroleras y mineras. Los piezómetros de tubo abierto o de cuerda vibrante, que son los más usados, presentan deficiencias en las etapas de recrecimiento y en trabajos de ampliaciones en zonas de explotación, además se menciona que presentan mayores dificultades para monitorear de manera continua con periodos de registro cortos los niveles freáticos, porque no permiten la identificación de los cambios temporales de las superficies freáticas y los datos de la calidad del agua subterránea, que son indicadores indispensables en la determinación del nivel y tipo de contaminantes existentes que se presentan en las zonas de operación.

Ante estos problemas expuestos, se planteará el uso del sensor eléctrico así como los procesos y pasos necesarios para obtener una base de datos que permita estimar la variación del nivel freático y la calidad del agua, a partir de los requerimientos solicitados por las entidades que fiscalizan y salvaguardan los recursos hídricos y el ecosistema.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema principal

¿Cómo monitorear el nivel freático y calidad del agua en los centros de operaciones de una cementera con un piezómetro de tubo abierto?

1.1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo monitorear el nivel freático en los centros de operación de una empresa cementera dedicada a la actividad extractiva de materia prima para el sector construcción?

¿Cómo verificar la calidad del agua subterránea dentro y en los alrededores de los centros de operación de una empresa cementera?

1.1.3 Objetivos de la investigación

1.1.3.1 Objetivo principal

Determinar el nivel freático y la calidad del agua subterránea mediante sensores eléctricos en las unidades de operación de una empresa cementera.

1.1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el nivel freático, en un piezómetro de tubo abierto con el uso de un sensor eléctrico.
- Monitorear la calidad del agua en un piezómetro de tubo abierto, mediante extracción de muestras.

1.1.4 Justificación e importancia de la investigación

En la actualidad, la mayoría de las empresas dedicadas al rubro de la explotación de minerales metálicos y no metálicos, presentan dificultades o inconvenientes al definir el tipo de instrumentación geotécnica que permita monitorear los niveles freáticos y calidad de aguas subterráneas, en el área de influencia en sus unidades de trabajo cuando se encuentran en diferentes condiciones de operación. Por tal motivo, se plantea el uso de sensores eléctricos en piezómetros de tubo abierto para realizar actividades de monitoreo durante las etapas de operación por la facilidad de medición y adquisición de datos.

1.1.4.1 Conveniencia

El empleo del sensor eléctrico para el monitoreo de las aguas subterráneas, generará a la empresas involucradas, disminución en el costo de instrumentación geotécnica, además realizarán actividades de control simultáneo y posteriores modificaciones en sus unidades, que permitan mayor capacidad de almacenamiento o extracción durante la ejecución de diversas etapas de operación de las empresas, además de preservar los recursos hídricos involucrados en sus zonas de operaciones.

1.1.4.2 Relevancia social

La calidad del agua subterránea circundante a una unidad de operación de una cementera, deberá permanecer sin alteraciones excesivas en su nivel; además estarán libres de agentes contaminantes, que alteren su uso por las poblaciones aledañas a su área de trabajo, quienes son principalmente los que hacen uso y beneficio de estas aguas.

1.1.4.3 Implicancias prácticas

El uso del sensor eléctrico permitirá realizar monitoreo del nivel freático y calidad del agua subterránea, de manera rápida, periódica; y; además proporcionará registro de muestreo para el análisis del agua subterránea que subyace en las diferentes unidades de operación de una empresa cementera.

1.1.4.4 Viabilidad de la investigación

El trabajo de investigación consistirá en la recopilación, medición y toma de datos, de los registros realizados en los piezómetros de tubo abierto ubicados en las diferentes unidades de operación de una empresa cementera, siendo las unidades “Atocongo”, “Conchan”, “Las Dunas”, “Las Hienas” y “Cristina”.

1.1.5 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes más recientes registrados son las investigaciones realizadas por Jiménez & Colmenares (2009) y por Neri, Escolero, Torres, & Riquer (2014). Estas investigaciones se realizaron en Colombia y México respectivamente, con el objetivo de verificar las condiciones existentes del agua subterránea y sus posibles fuentes de contaminación. Para el caso de la investigación realizada en México, hicieron uso del piezómetro de tubo abierto para monitorear los posibles ascensos del nivel freático e identificar las zonas vulnerables a las inundaciones. La investigación realizada en Colombia, presenta el uso de sensores automáticos para monitorear el contenido de contaminantes y a su vez el nivel freático presente en la superficie subterránea.

En nuestro país el caso de monitoreo de niveles freáticos con piezómetros fueron presentados en la investigación realizada por Alva & Escalaya, (2006), en los trabajos de instrumentación geotécnica de la presa “Pillones”, en esta investigación se presentaron actividades que involucraban el uso de piezómetros abiertos con sensores automáticos.

1.1.6 Formulación de hipótesis

1.1.6.1 Hipótesis principal

El uso del sensor eléctrico en un piezómetro abierto, permite obtener el nivel freático y calidad del agua en diferentes etapas de operación de una empresa cementera.

1.1.6.2 Hipótesis específicas

El empleo de sensores eléctricos determina el nivel freático en las diferentes etapas de operación de una empresa cementera.

El uso del piezómetro de tubo abierto con sensor eléctrico, permite extraer muestras de agua subterránea para la verificación de calidad de la misma.

1.1.7 Variables

Las variables identificadas y empleadas en el presente trabajo de investigación son las siguientes:

- Instrumentación geotécnica.
- Nivel freático.
- Periodo de evaluación.
- Calidad de aguas subterráneas.
- Ubicación y cota de los piezómetros.

1.1.8 Operacionalización de variables

Las variables fueron operadas convenientemente, con el objetivo de definir los indicadores y sus respectivas escalas de medición. Se tienen 05 variables y se presentan en la siguiente tabla N° 1.01.

Tabla N° 1.01: Operacionalización de variables.

VARIABLE	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Instrumentación geotécnica	Piezómetros de tubo abierto	Número de piezómetros instalados.
Nivel freático	Profundidad del nivel freático	Metro.
Ubicación	Ubicación geográfica y altitud de las estaciones monitoreo	Metro.
Periodo de evaluación	Fecha y periodos de monitoreo de las estaciones	Días y meses.
Calidad del agua	Contenido de contaminantes	Parámetros estándar de calidad del agua (ECA).

Fuente: Elaboración propia.

1.2 Metodología

1.2.1 Tipo y nivel de la investigación

El tipo de investigación será aplicada y el nivel de investigación será descriptiva y explicativa porque mediante gráficos y tablas de resultados, determinaremos los niveles y cantidad de contaminantes presentes en las aguas subterráneas.

1.2.2 Método y diseño de la investigación

El método de investigación será cuantitativo, los datos obtenidos en campo y laboratorio son medibles y serán relacionados con el uso de gráficos.

El diseño será de tipo no experimental y descriptiva, la información empleada en la presente investigación fue recopilada y luego analizada para posteriormente describir las variaciones de nivel presente durante la etapa de monitoreo. Además el diseño será de corte longitudinal y retrospectivo, porque las mediciones fueron realizadas periódicamente en un tiempo no mayor de tres años.

1.2.3 Universo, población y muestra

UNIVERSO: Instrumentación geotécnica.

POBLACION: Piezómetros abiertos.

MUESTRA: Piezómetros abiertos con sensor eléctrico.

1.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se obtendrá y recopilará información de los piezómetros de tubo abierto instalados en las unidades de operación de una empresa cementera, en el periodo comprendido entre Julio de 2013 hasta Setiembre de 2015, de los cuales se procesarán y graficarán, para posteriormente ser analizados e interpretados convenientemente para desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II: PIEZÓMETROS

El piezómetro es un instrumento de medición geotécnica, empleado para medir las presiones de agua y nivel freático durante la construcción y funcionamiento de una presa, depósitos de relaves mineros, operaciones de explotación de minerales o zonas de trabajo empleados para fines de estudio. Principalmente es utilizado para medir el nivel de la superficie freática producida por alguna infiltración de aguas subterráneas.

El monitoreo del nivel freático es muy importante, ya que el aumento excesivo de la presión hidrostática o carga hidráulica puede ser muy riesgoso, por lo que el uso de este tipo de instrumentación es indispensable para conocer dichas variaciones de nivel que alteren las zonas de trabajo.

Los piezómetros presentan varias aplicaciones, entre las que se menciona:

- Monitoreo del nivel freático;
- Monitorear la presión del agua;
- Monitoreo de sistemas de drenaje;
- Monitoreo de la calidad del agua subterránea.

Existen varios tipos de piezómetros que pueden ser utilizados durante varios años, siempre dependiendo del tipo de monitoreo que se requiera realizar. La tecnología ha mostrado su influencia en los piezómetros de una manera importante su desarrollo y forma de recolección de datos. El factor económico es, algunas veces determinante en la selección de piezómetro a usar, además de la función que se le va a otorgar. Los piezómetros principalmente se pueden clasificar en Abiertos, como el de "Casagrande" y del tipo cerrados como el hidráulico y el eléctrico.

La importancia de monitorear el comportamiento de la presión de poros en el suelo de cimentación que tiene un nivel de agua freática superficial, sobre todo en las fases de construcción de una estructura, que le generará un incremento significativo de esfuerzos, es de mucha importancia porque dicho parámetro está ligado con la resistencia del suelo y al mismo tiempo con la velocidad de los asentamientos por consolidación primaria.

Teóricamente, al colocar una carga, inicialmente el incremento de esfuerzos en la masa del suelo sería tomado por el agua contenida en los poros del mismo y por consiguiente disminuiría su resistencia al esfuerzo cortante; entonces, si ocurre que el incremento de la presión de poro es demasiado grande, se podría provocar la falla del terreno de cimentación; es donde el monitoreo de niveles freáticos toma mucha importancia, indudablemente la presión de poros toma importancia ya que el valor de este factor es necesario para la construcción de cualquier tipo de estructura; de ahí la necesidad de observar su comportamiento, con mucha atención durante la etapa constructiva de una estructura, y proseguir su monitoreo en un lapso posterior para registrar cualquier cambio suscitado, (Beltran & Vintimilla, 2014).

En resumen, los piezómetros de tubo abierto o de tipo “Casagrande”, se emplean para detectar, medir y monitorear el nivel freático, y mediante cálculos adicionales medir la presión de poros, específicamente a la profundidad de instalación de la punta de medición, siendo necesario en las etapas constructivas, para conocer los puntos críticos de medición y adquirir datos que se pueden ser de utilidad, (Beltran & Vintimilla, 2014).

Con el avance tecnológico, los piezómetros también han tenido mejoras desde su creación; y se desarrollaron para cada necesidad, diferentes tipos de piezómetro, entre los cuales se tienen los más utilizados y se presentan en el mismo orden de creación:

- Piezómetro abierto;
- Piezómetro hidráulico;
- Piezómetro neumático;
- Piezómetro de cuerda vibrante;
- Piezocono.

2.1 Tipos de Piezómetros

2.1.1 Piezómetro abierto

Es conocido también como tipo Casagrande, en honor a quién lo desarrolló “Arthur Casagrande” (Terzagui, Peck & Mesri, 1996). Este piezómetro está conformado por los siguientes elementos: un filtro de

arena dentro del cual se coloca una celda permeable o bulbo, un tubo vertical, un sello de bentonita que se coloca arriba del filtro de arena y envuelve al tubo vertical.

Los piezómetros de Casagrande pueden usarse para la medición del nivel freático respecto a la superficie del terreno, presión de agua en terraplenes, fundaciones, presas, o en lugares seleccionados. Formado por un tubo plástico o de metal, con una piedra porosa en su base.

Este piezómetro se basa en el contacto del limnómetro eléctrico con el agua para registrar el nivel freático respecto a la superficie del terreno, además se menciona que es apropiado en lugares donde la superficie freática es sensiblemente estática (Novak, 2001).

La gran ventaja de este instrumento es su bajo costo de instalación, su adaptabilidad, requiere poco mantenimiento y sus datos se pueden obtener prácticamente con cálculo matemático básico. Respecto a las desventajas se puede decir, que las perforaciones son costosas, el tiempo de lectura es relativamente largo y durante la construcción puede ser golpeado e interferir con equipos y/o maquinarias. El tubo utilizado debe tener un diámetro recomendado de 12 mm para que las burbujas de aire puedan subir libremente sin tener obstrucciones.

El tubo debe instalarse lo más verticalmente posible y así evitar cualquier inconveniente o desperfecto. Una de sus limitaciones es que no se pueden usar en ciertas zonas donde tengan grandes deformaciones; también, se necesita un equipo eléctrico para medir el nivel del agua dentro del tubo vertical (sonda eléctrica o limnómetro eléctrico).

Su funcionamiento es de la siguiente manera: El filtro de arena permite que se cree un sistema de vasos comunicantes entre el agua del subsuelo y el tubo vertical, de esta forma el agua tiende a subir por el tubo vertical hasta alcanzar un nivel de equilibrio. Si este nivel de equilibrio coincide con el nivel de agua freática existente en el lugar, se tienen condiciones hidrostáticas por lo menos hasta la profundidad en que se colocó la celda permeable. El filtro de arena evita que las partículas sólidas finas del suelo emigren hacia la celda del piezómetro y lo tapen.

El sello de bentonita logra que el agua que se introduce al piezómetro sea de una profundidad o estrato específico y no se tengan aportaciones de agua de estratos superiores haciendo que el nivel de agua dentro del piezómetro sea precisamente el de dichos estratos.

Para medir el nivel de agua dentro del tubo vertical del piezómetro, se emplea una sonda eléctrica, que en términos generales es un circuito eléctrico abierto mediante la separación de las puntas de un cable eléctrico, el cual al introducirse en el tubo vertical y descenderlo hace contacto en el agua cerrando el circuito; en la superficie esto se ve porque se produce un cambio de voltaje que prende una luz o activa una chicharra. Desde su creación y hasta la fecha, este tipo de piezómetro se sigue utilizando porque ha demostrado dar resultados confiables si se construyen e instalan correctamente. Siendo el punto crítico de la construcción el sello de bentonita, sobre todo cuando se tiene que colocar a profundidades considerables, (Beltran & Vintimilla, 2014).

En la actualidad, existen distintos tipos de piezómetros abiertos, en los que se ha sustituido el filtro de arena por un geosintético llamado geotextil colocado alrededor de toda la superficie del bulbo.

También en el procedimiento constructivo se menciona innovaciones, y ahora algunos piezómetros abiertos pueden colocarse hincando la celda permeable. El procedimiento de hincado debe realizarse con cautela, si estos elementos son colocados en materiales coloidales blandos, ya que el suelo circundante a la celda permeable hincada es comprimido y desplazado, provocando su remodelado, que genera disminución de la permeabilidad y aumenta el tiempo de respuesta, el cual podría ser mayor al que tomaría colocar la celda en una perforación previa donde el remodelo es mínimo, (Beltran & Vintimilla, 2014).

El tiempo de respuesta, es el tiempo necesario para que el nivel del agua dentro del tubo vertical alcance el equilibrio dependerá de las propiedades permeables del suelo en donde se coloque la celda permeable. Por dicha razón, se recomienda que la celda permeable se construya en estratos de

arena o de alta permeabilidad. En la figura N° 2.1.1, se presenta el esquema de un piezómetro de tubo abierto con sus componentes.

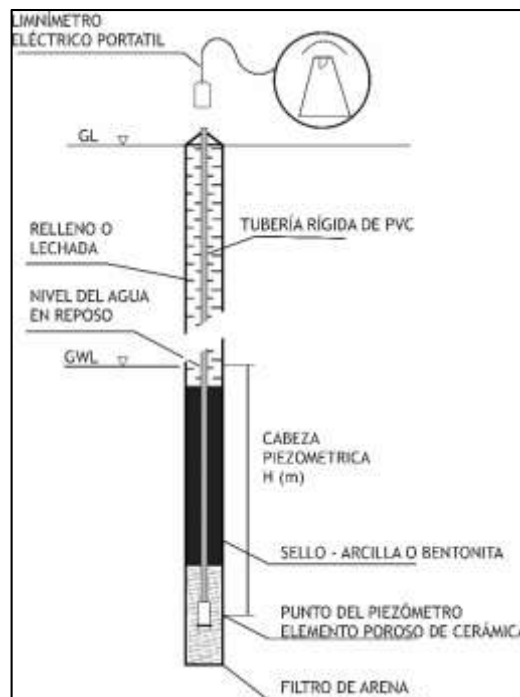


Figura N° 2.1.1: Piezómetro de Casagrande (Piezómetro Abierto)

Fuente: Novak – Estructuras Hidráulicas 2001.

Los procedimientos para la instalación de los piezómetros abiertos están en función de las condiciones de los materiales que se atraviesan y las que establecen el proyecto. Para instalar un piezómetro es necesario localizar topográficamente la posición del brocal del tubo, así como su elevación con respecto a un banco de nivel.

El piezómetro abierto funciona con el principio de los vasos comunicantes. Una celda o bulbo poroso capta el agua del interior del suelo en el punto de interés y la presión que actúa en ese punto la eleva a través de un ducto recto hasta una posición (columna de agua) que equilibra la presión en el bulbo piezométrico; la altura de la columna desde la elevación del bulbo piezométrico hasta el nivel del agua en la tubería, es la medida de la presión de poro en ese punto, (Beltran & Vintimilla, 2014).

La variación de las presiones de poro se obtiene con la medición de las distancias de la superficie libre del agua en el ducto, respecto al nivel de

elevación del brocal del tubo de PVC del piezómetro; con esta distancia y el nivel de elevación del bulbo piezométrico, se obtiene la longitud de la columna de agua que interesa.

La forma de tomar y anotar los datos se lo debe realizar de manera ordenada y periódica. Además siempre se debe usar el mismo formato para evitar equivocaciones en la manipulación de los mismos.

2.1.2 Piezómetros Hidráulicos

Estos piezómetros que sirven para medir la presión de poros y a su vez el nivel de las aguas subterráneas, es más efectivo que los de tubo abierto a pesar que tienen algunas similitudes. La presión del agua se detecta por la parte inferior donde se encuentra la punta porosa y de ahí el agua es conducida hacia la zona de lectura. La variación se puede registrar con un manómetro de mercurio, (Beltran & Vintimilla, 2014).

Los más utilizados son los de tubos gemelos, los cuales están interconectados y permitiendo el paso del agua. La zona de medición o lectura tiene unos tubos de PVC de diámetro pequeño llenos de líquido (aceite o agua), según se muestra en la figura N° 2.1.2.

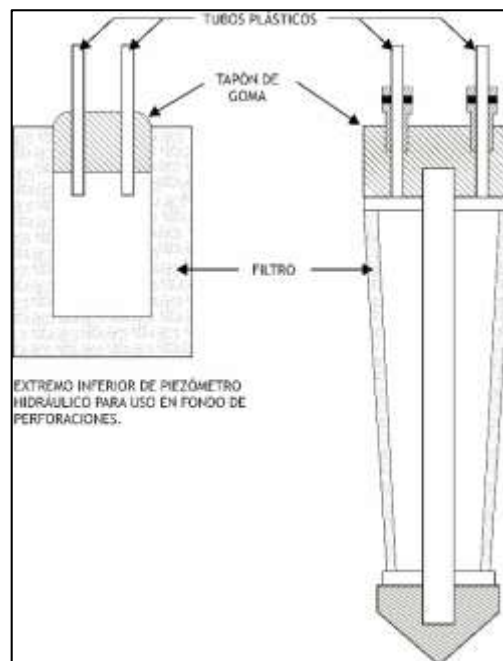


Figura N° 2.1.2: Esquema Piezómetro Hidráulico (Piezómetro Cerrado).

Fuente: Fuente: Novak – Estructuras Hidráulicas, 2001.

2.1.3 Piezómetros Neumáticos

Estos piezómetros se usan para medir el nivel freático y la presión de poros que se presenta en las masas del suelo; consiste en una punta porosa conectada a una cámara de equilibrio que contiene una válvula o diafragma sensitivo que abre o cierra la conexión entre los dos tubos que alcanzan la superficie donde se realiza las mediciones. Este diafragma es accionado por fluidos que pueden ser gas, agua u otros. Para el funcionamiento es necesario transmitir una presión a la cámara de equilibrio, provocando que el diafragma se separe y comunique los dos conductos de forma regular. Se puede decir que la presión se ha igualado en la cámara, por lo tanto la presión de poro es la que se representa en el manómetro, según se presenta en la figura N° 2.1.3.

Sus principales ventajas son, primero que es muy simple en su uso, no depende de electricidad, son sensibles y prácticamente no necesitan mantenimiento, además ofrecen una respuesta rápida y quedan menos afectados por los posibles movimientos del terreno, (Novak, 2001).

Como desventajas, su costo mayor, los datos deben ser tratados cuidadosamente para que tengan validez, en suelos de alta plasticidad puede dar lecturas erradas y el nivel de precisión no es bueno cuando las presiones existentes en la zona de sondeo son bajas.

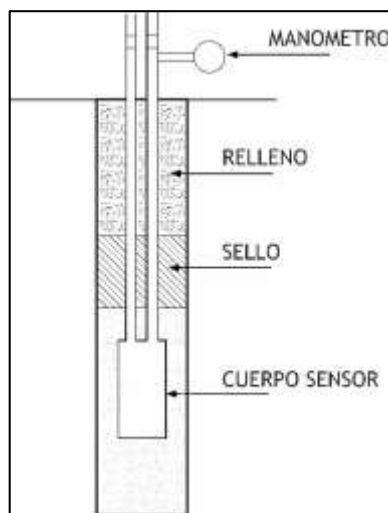


Figura N° 2.1.3: Piezómetro neumático.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4 Piezómetros de Cuerda Vibrante

Es otro tipo de piezómetro cerrado, semejante al piezómetro neumático, en este caso el transductor está integrado por una cuerda que puede vibrar.

El funcionamiento de este equipo se basa en el principio de la cuerda vibrante. En este caso, el extremo de un alambre de acero se sujeta al cuerpo del transductor por una mordaza fija y es tensionado con una segunda mordaza móvil, hasta que vibre libremente, a esta forma de vibrar se define como frecuencia natural. Esta frecuencia de vibración variará si cambia la tensión del cable, lo que se logra con movimientos relativamente pequeños de la mordaza móvil, en este caso la mordaza móvil es parte del diafragma flexible que se deforma cuando el agua del suelo llena la cámara del transductor. Ver figura N° 2.1.4.

El cambio de frecuencias de vibración del alambre antes y después de deformado el diafragma flexible, puede ser traducido en una presión de poros utilizando equipo electrónico, (Beltran & Vintimilla, 2014).

Al igual que los otros dos piezómetros de diafragma, su tiempo de respuesta es menor al de un piezómetro abierto, pero requiere que tanto su instalación como su operación sea realizada por personal calificado,

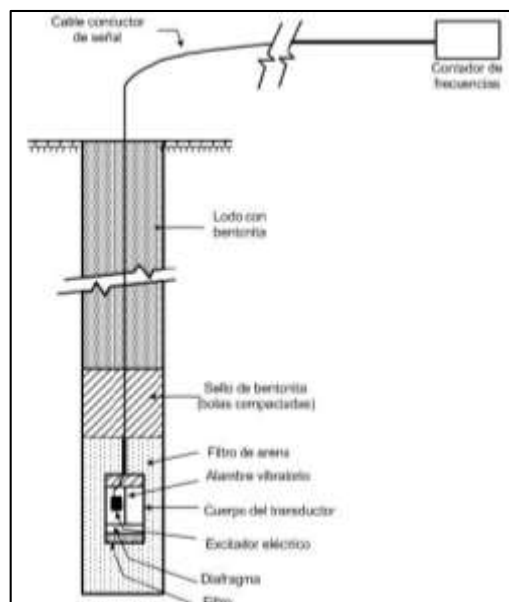


Figura N° 2.1.4: Piezómetro de cuerda vibrante.

Fuente: Novak – Estructuras Hidráulicas, 2001.

2.1.5 Piezocono

Está compuesto por un transductor electrónico calibrado, colocado en el interior de una camisa metálica generalmente de 5cm de diámetro con punta cónica según se aprecia en la figura N° 2.1.5. El contacto de la fase líquida del suelo con el transductor ocurre arriba de la punta cónica, donde se encuentran dos piedras porosas diametralmente opuestas.

Entre éstas y el transductor existe una cámara que se satura (generalmente con glicerina desaireada). De esta forma se asegura que la presión ejercida por el agua que rodea al piezocono se transmita íntegra a una membrana que forma parte del transductor. Para tener buenos resultados es necesario garantizar una buena saturación de la cámara para evitar la formación de burbujas de aire en su interior.

El equipo que se utiliza para el hincado del piezocono en el suelo, es similar al que se emplea en una prueba de cono eléctrico convencional. La velocidad de hincado del piezocono no es mayor de 2cm/s para evitar generar una alta presión que pueda dañar el transductor.

El procedimiento de ejecución de una prueba de piezocono, consiste en hincarlo a velocidad constante hasta una cierta profundidad, después se suspende el hincado, se toman lecturas de presión de poro hasta alcanzar la presión de equilibrio del suelo. El tiempo necesario dependerá del tiempo de respuesta del transductor y de la permeabilidad del suelo en cuestión. Las mediciones de la presión de poro generalmente se realizan en estratos permeables.

En cada medición se dibuja una curva de disipación de presión de poro contra el tiempo transcurrido después de suspenderse el hincado, cuando las lecturas tienden a ser constantes, se dice que se ha alcanzado la presión de estabilización cuyo valor es la presión de poro existente en el suelo antes del hincado. Se ha observado que la presión de estabilización de las lecturas comienza a partir de los 15 min para suelos limo arenosos, con tiempos máximos del orden de 45 min para suelos de menor permeabilidad.

En el mercado actual existen otros equipos, pero todos ellos parten básicamente de los principios de funcionamiento antes señalados. Uno de esos equipos innovadores es el Dilatómetro de Marchetti que trabaja en forma muy similar al piezocono, sin embargo su forma en lugar de ser cónica es con punta de lanza, que induce un menor remoldeo del suelo en el que se hinca y por lo tanto reduce el tiempo de respuesta en las lecturas. En la figura N° 2.1.5, se presenta la configuración de un piezocono. En la bibliografía que se incluye en este trabajo, se podrán revisar y consultar aspectos de los piezómetros que aquí no se trataron. Resulta sorprendente ver la cantidad de investigación que se ha hecho de estos equipos y de cómo influyen cada uno de los componentes del equipo en los resultados que se miden, (Duncan, Wright & Brandon, 2014).

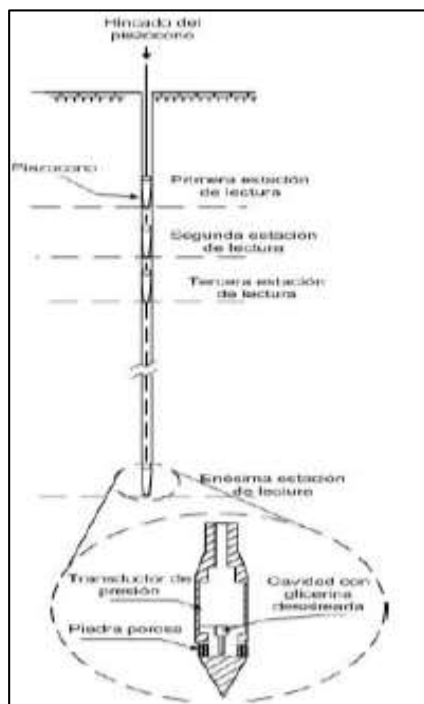


Figura N° 2.1.5: Piezocono.

Fuente: (Beltran & Vintimilla, 2014).

2.2 Tipos de configuración de instalación de Piezómetros.

Cabe recalcar que en las zonas de trabajo al ser necesario colocar piezómetros en una misma ubicación pero a diferentes cotas, en la construcción será necesario utilizar el sistema multinivel o de piezómetros anidados, esto quiere decir que en la misma perforación se deberán

instalar un número determinado de piezómetros, dependiendo del tipo de piezómetro de Casagrande adquirido según las recomendaciones del fabricante, se podrá utilizar las diferentes formas de configuración. En la figura N° 2.2.1, se puede apreciar de forma más clara como se colocan piezómetros a diferentes cotas, claro está que para el caso de presas es imposible utilizar la forma de agrupados pero si es factible utilizarlos para laderas u otras zonas de interés, (Beltran & vintimilla, 2014).

Un sistema multinivel es un dispositivo que permite el seguimiento y monitoreo del nivel freático y/o la toma de muestras, de las aguas subterráneas a partir de una configuración de diferentes niveles de instalación, dentro de una sola perforación. La instalación de estos sistemas, permite la diferenciación de la distribución del nivel superior de un acuífero. Dado que el flujo de agua subterránea es un proceso de tres dimensiones, la gradiente vertical, así como las gradientes horizontales, deben ser tomados en cuenta, pero en muchas investigaciones, la componente del flujo vertical a menudo no es considerada, (Beck, 2003). Este tipo de configuración viene siendo reconocida de vital importancia para el manejo y remediación de aguas subterráneas contaminadas

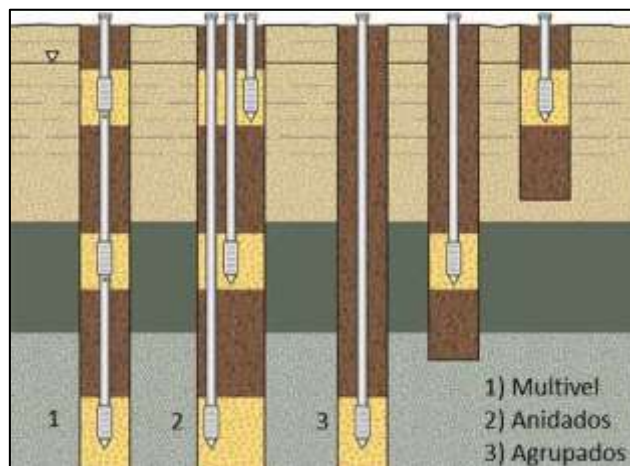


Figura N° 2.2.1: Configuración de Piezómetros en una estación.
Fuente: Beck - Use of Multilevel systems to support programs to manage contaminated groundwater, 2003.

2.3 Elección del tipo de piezómetro.

Los factores o aspectos a tomar en cuenta al momento de elegir el tipo de instrumentación geotécnica con piezómetros son: sensibilidad y rango de

operación, precisión, seguridad y durabilidad. Los dos primeros factores se encuentran en función de la magnitud de esfuerzos que se requiere medir. La seguridad depende del tipo de suelo donde será colocado el piezómetro, del proceso constructivo y desde luego del cuidado y mantenimiento en su operación. La durabilidad, se refiere al tiempo durante el cual se hará uso de la operación de los equipos. Por lo general, se considera que para aquellos piezómetros que son instalados y operados correctamente, la seguridad y la durabilidad, son frecuentemente más importantes que la alta precisión y que la sensibilidad, (Beltran & Vintimilla, 2014).

FACTOR ECONÓMICO, que debe tener en cuenta el costo del equipo, la calibración, la instalación, el mantenimiento, el monitoreo y el procesamiento de la información, así como prever la disponibilidad del equipo y del personal capacitado para la instalación del mismo en el lugar de interés, cuando esto último se tiene, el costo del equipo es raramente un factor dominante en la elección del piezómetro.

DURABILIDAD, el tiempo de servicio para que operen adecuadamente los equipos es importante, ya que el contacto con el agua puede provocar el deterioro de piezas metálicas después de un tiempo; también existe la posibilidad de que los filtros se tapen por la migración de partículas sólidas finas o que haya crecimiento de microorganismos que alteren el funcionamiento del sistema. En general, la vida útil de un equipo depende de los materiales con que está fabricado y del agua en que es sumergido. La experiencia indica que cualquier piezómetro bien construido y operado puede funcionar correctamente por unos varios años.

SEGURIDAD, sí en el perfil estratigráfico del suelo en estudio solo existen suelos coloidales, compuestos principalmente de arcillas. La elección debe ser: cualquier piezómetro cerrado o de diafragma, que permite tener una respuesta en menos tiempo que los piezómetros abiertos, la que además permite tomar una decisión preliminar del tipo de piezómetro que se necesita en función de las características permeables del suelo en que sería construido.

Si el suelo presenta una estratificación con arenas, podrían emplearse piezómetros abiertos ubicados en dichos estratos de arena. También podrían utilizarse cualquiera de los otros tipos de piezómetros, sin embargo, el aspecto económico debe analizarse.

Cuando se tienen depósitos de suelos orgánicos, la presencia de gas puede afectar el correcto funcionamiento de los piezómetros. Para disminuir dicha influencia se deben utilizar piezómetros abiertos con filtros de alta permeabilidad, además el tubo vertical del piezómetro debe tener un diámetro interior suficiente (2.5cm como mínimo) para que se produzca un auto-desaireado, (Beltran & Vintimilla, 2014).

La sensibilidad y la precisión se tendrían que elegir a partir del incremento de esfuerzos que induciría cada una de las etapas de construcción, y del valor máximo que se necesita para producir la falla del suelo.

2.4 Instalación de Piezómetros

El equipo utilizado para perforar debe garantizar la verticalidad durante el proceso con los diámetros especificados en el proyecto. Cuando la perforación provoque caídas de material durante las operaciones de instalación, se deberá usar ademe metálico recuperable; se debe evitar utilizar lodos de bentonita como estabilizadores de las paredes de la perforación.

La perforación debe llegar hasta una profundidad de 50 cm, por debajo de la profundidad de localización del centro de la punta porosa, según lo que indique el proyecto. Previo al descenso del bulbo, se vierte arena gruesa a media, limpia, bien graduada, en un espesor de 30 cm sobre el fondo de la perforación; en tanto, el piezómetro se envuelve en arena gruesa a fina, sostenida por una malla de geotextil filtrante. Para el descenso se acoplan los tramos de tubería de PVC, cuidando su limpieza interna.

Al momento de bajar el bulbo (cilindro poroso) piezométrico a su posición, se debe tener cuidado con los tramos de tubería acoplados para que no se fracturen durante la manipulación; el bulbo piezométrico debe asentarse sobre el relleno de arena, previamente vertido; una vez asentado, se vierte otra vez arena hasta alcanzar un espesor total de 1 m desde el fondo del

barreno. En el caso de ademe metálico, se extrae nuevamente 50 cm para permitir que la arena descienda por completo. La zona piezométrica se sella al colocar sobre el empaque de arena, esferas de bentonita que se colocan en capas hasta alcanzar un espesor de 50 cm. Sobre este sello, se rellena el barreno con mortero arena-cemento-bentonita hasta 3 m de espesor, en proporciones de una parte de cemento por dos de arena en volumen y la bentonita al 3.0 % en peso del cemento. En este proceso, después de colocar 50 cm de mortero se extrae el ademe otros 50 cm, para repetir el llenado de mortero hasta alcanzar el espesor señalado. Se continúa con el relleno de la perforación hasta llegar a una altura de 50 cm por debajo de la superficie libre del terreno. El tramo final de la tubería hacia la superficie se adapta para protegerse con un cajón de concreto armado con tapa metálica galvanizada y portacandado.

En las 05 unidades de operación en estudio, se instalaron piezómetros abiertos o de tipo Casagrande, el método de instalación para cada una de ellas siguió el mismo proceso constructivo.

Para la ejecución de los trabajos de perforación para la instalación de los piezómetros en las unidades de operación, fue necesario utilizar una máquina perforadora diamantina, ver foto N° 2.4.1. En todos los casos la perforación y cota de asiento de los piezómetros sobrepasó la cota del nivel freático, según lo recomendado para garantizar muestreo de las aguas subterráneas en cualquier época del año.



Foto N° 2.4.1: Trabajos de perforación.

Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina, 2014.

Las muestras extraídas de la perforación fueron colocadas en las cajas porta testigos, distribuidos en forma secuencial a medida que eran extraídas del subsuelo, separándose cada corrida con tacos de plástico que limitan las profundidades alcanzadas.

Una vez terminada la perforación en el suelo hasta sobrepasar el nivel freático en unos metros de profundidad, se procedió a realizar la instalación del Piezómetro el cual tiene el siguiente procedimiento:

Cada tubo de "PVC clase Sch 40" para agua de 2" de diámetro y filtro ranurado con aberturas 1mm en una longitud de 5 m, se tomaba la cantidad necesaria de tubos según la profundidad de perforación alcanzada, se toma el primer tubo de "PVC Sch 40", que corresponde al filtro ranurado y se le coloca la tapa tipo punta de lápiz en la base. Se debe tener cuidado con los tramos de tubería acoplados para que no se fracturen durante la manipulación, ver fotos N°2.4.2 y N°2.4.3.

Luego de la verificación de la profundidad de instalación según se presenta en la foto N° 2.4.4, a continuación, el vacío sobrante entre el tubo piezométrico y las paredes del suelo excavado se rellena normalmente con arena, suelo cemento o algún agregado fino que evite la rotura del tubo de PVC durante la vida útil del equipo instalado por contacto confinado, además que sirve de colchón entre el suelo natural excavado y el tubo piezométrico colocado, ver foto N°2.4.5. Para nuestro caso se usó lechada de cemento con bentonita hasta la parte superior de la perforación, (Geo Master, 2014).

Culminada la etapa de instalación de cada piezómetro, se les realizó un sistema de protección con tubo de fierro fundido de 4" de diámetro con tapa y candado, cimentada y aplomada dentro de un dado de concreto que servirá para proteger los piezómetros de cualquier daño, si este se deja expuesto a la superficie del terreno. Los candados son entregados al área encargada de cuidar y preservar las estaciones, para que cuando realicen periódicamente los registros del nivel freático y muestreo de las aguas del subsuelo en cada piezómetro, puedan abrir el sistema de protección, ver foto N° 2.4.6.



Foto N° 2.4.2: Habilitación de tubo de PVC.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina 2014.



Foto N° 2.4.3: Instalación de tubo de PVC en zona perforada.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina, 2014.



Foto N° 2.4.4: Verificación de profundidad de perforación.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina, 2014.



Foto N° 2.4.5: Colocación de lechada de cemento con bentonita.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina, 2014.



Foto N° 2.4.6: Piezómetro instalado.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Cristina, 2014.

2.5 Mantenimiento de Piezómetros

2.5.1 Objetivos del mantenimiento de piezómetros

El objetivo principal luego de la instalación de los piezómetros, es hacer una limpieza y lavado de los tubos piezométricos, drenando el agua con ayuda de una compresora de aire, para permitir la recirculación del agua captada. Este proceso se efectúa para así poder realizar los trabajos de monitoreo periódico de la variación del nivel freático, así como poder tomar muestras de las aguas subterráneas que se encuentran dentro de la influencia de cada unidad de operación, a fin de analizar su calidad y dar cumplimiento al estudio hidrogeológico, según los estándares exigidos por la entidades ambientales a cargo.

2.5.2 Procedimiento para la limpieza y drenaje de Piezómetros

Con la finalidad de hacer la limpieza y lavado de los tubos piezométricos, donde ha sido necesario drenar el agua de los piezómetros para permitir la recirculación del agua captada y permitir el flujo del agua subterránea dentro de los piezómetros, para poder hacer medidas de la posición del nivel freático, además de la toma de agua de los piezómetros para los análisis físico-químicos.

Para la realización de la limpieza se hace uso de una compresora de aire de 2.7 Bar y 39 PSI, de presión, la misma que ha servido para expulsar el agua de los piezómetros y hacer que se haga nuevas captaciones de agua.

Este proceso consiste en introducir una manguera de polietileno de 1" de diámetro hasta alcanzar la cota del nivel freático y por 10 minutos se permite el ingreso de aire de la compresora, lo que hace que el agua captada en el tubo piezométrico sea expulsada hacia la superficie. Se presenta en la foto N° 2.5.1, el proceso de expulsión de agua contenida dentro del piezómetro.

Luego de la primera limpieza, se introduce la manguera una cierta longitud más hacia el fondo, ejecutando el mismo proceso de limpieza con expulsión del agua a la superficie. Este proceso se repite sucesivamente expulsando el agua, haciendo que el filtro de los piezómetros capte de manera inmediata nueva agua subterránea, lo que hace que el flujo de captación recircule durante todo el tiempo que dure la limpieza, esta actividad en el piezómetro se realiza durante todo un día, esta actividad es realizada cada dos meses, (Geo Master, 2014).



Foto N° 2.5.1: Expulsión de agua con aire durante 10 minutos.
Fuente: Geo – Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Atocongo, 2015.

2.6 Piezómetro abierto con sensor automático

Los sensores automáticos adicionan una gran ventaja en cuanto se refiera a las lecturas en los piezómetros de tubo abiertos. A lo largo del tiempo los piezómetros han experimentado cambios desde la perforación e instalación, hasta las formas de lectura y mecanismos según sean su tipo de requerimiento. El sensor automático sintetiza la lectura en el piezómetro de tubo abierto. Los sensores presentan diferentes características de lectura, para cada caso según el estudio requerido. Estos sensores, entre sus ventajas se pueden mencionar lo siguiente:

- Tiene un bajo costo.
- Se puede determinar hasta tres parámetros.
- Cuenta con una batería con una durabilidad aproximada de 5 años.
- Tiene una memoria que puede almacenar hasta 40,000 juegos de lectura.
- Exactitud hasta del 0.1% en escala total.
- Es posible programar lecturas con intervalos desde 5 s hasta intervalos de 99 horas, según lo que requiera el proyecto.
- Los datos registrados pueden ser transferidos a un ordenador PC mediante puerto USB.

Los datos registrados por estos sensores se descargan por medio de cables de interface a un ordenador, para su posterior uso en el programa de cómputo Solinst Levelogger, según se muestra en las figuras N° 2.6.1 y N°2.6.2.



Figura N° 2.6.1: Esquema de adquisición de datos del sensor automático.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

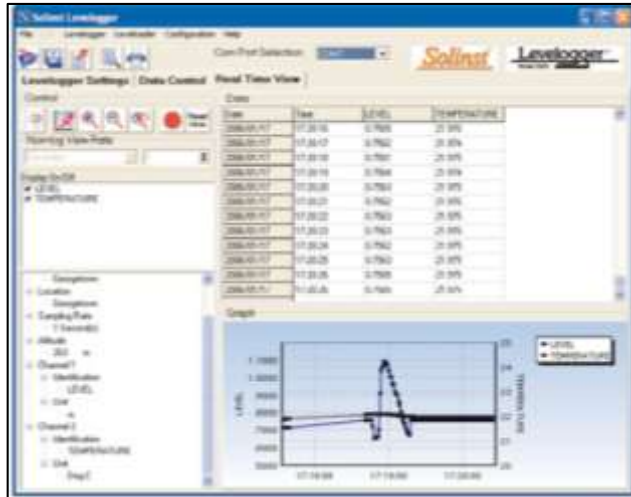


Figura N° 2.6.2: Gráficos obtenidos del programa Solinst Levelogger.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

En el programa de instrumentación de piezómetros abiertos con sensores automáticos, nos permiten obtener el registro de presión tanto relativa como absoluta, temperatura y/o registro de conductividad del agua. Estos parámetros son tomados por los siguientes sensores:

2.6.1 Sensor Levelogger Edge

Este equipo es un registrador de datos que está ubicado dentro de un revestimiento cilíndrico con una argolla para su suspensión en la parte superior. El circuito electrónico, la batería y sensores se encuentran dentro del revestimiento y no se requiere mantenimiento. Los datos de las mediciones son almacenados automáticamente en la memoria interna del sensor. El Levelogger Edge cuenta con un sensor de presión diseñado para medir la presión del agua, cuenta con un sensor de temperatura y además de ello, una memoria de almacenamiento y batería, ver figura N° 2.6.3. Este es un registrador automático que puede ser programado según los requerimientos del usuario, (Solinst, 2014).



Figura N° 2.6.3: Sensor Levelogger Edge 3001.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

2.6.2 Sensor Barologger Edge

Este es un equipo que registra tanto la temperatura como la presión atmosférica, así mismo este sensor hace la función de un barómetro y por consecuente registra la presión atmosférica en cualquier punto. Los datos registrados con el Barologger Edge, que se presenta en la figura N° 2.6.4, se utilizan para compensar las mediciones registradas por los registradores de datos para las variaciones en la presión atmosférica, (Solinst, 2014).



Figura N° 2.6.4: Sensor Barologger Edge 3001.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

2.6.3 Sensor LTC Junior

Este sensor puede medir la temperatura y los niveles de agua, pero la principal característica, es que puede medir la conductividad del agua. El sensor LTC Junior se presenta en la figura N° 2.6.5.

El cambio de conductividad en el agua puede indicar alteraciones en los flujos, aumentos o disminuciones en la contaminación o en la salinización. Por cada medición realizada por este sensor, se registran tanto hora y fecha, nivel de agua en el piezómetro, su temperatura y su conductividad, (Solinst, 2014).



Figura N° 2.6.5: Sensor LTC Junior 3001.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

En la figura N° 2.6.6, se presenta mediante esquema, el funcionamiento de estos sensores y el nivel de medición punto cero.

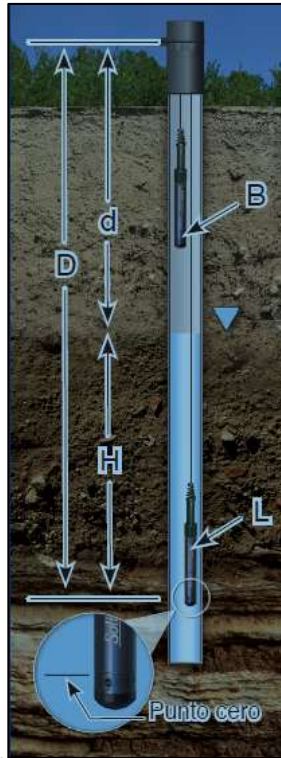


Figura N° 2.6.6: Esquema de funcionamiento del sensor automático.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

Los sensores Leveloggers (L) miden la presión total que actúa sobre un transductor en el punto cero/sensor. La presión total es consecuencia de la columna de agua que yace sobre el sensor de presión del Levellogger y la presión barométrica (atmosférica) que actúa sobre la superficie del agua. Para compensar las diferencias de la presión barométrica y obtener mediciones reales de la altura de la columna de agua (H), se requiere de un Barologger (B), es decir:

Lectura del Levellogger (L) - Lectura del Barologger (B) = Altura de la columna de agua (H).

CAPÍTULO III: INFORMACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES DE OPERACIÓN EN ESTUDIO

La empresa cementera UNACEM S.A., es la principal productora de cemento en el Perú, representa aproximadamente el 47% de participación en el mercado nacional. Esta se encarga de la explotación y procesamiento de las materias primas que constituyen el cemento, además de la comercialización del producto terminado, a nivel nacional como en el extranjero a través del muelle de Conchan y por vía terrestre.

En el presente capítulo se describe de forma general la ubicación y las condiciones de sitio donde se emplazan las unidades de operación analizadas, como la ubicación y accesos, fisiografía, geología, hidrología, hidrogeología, clima, meteorología e información de los suelos existente en las zonas de estudio.

3.1 Unidad de operación “Atocongo”

3.1.1 Ubicación y acceso

La unidad de operación “Atocongo” se ubica políticamente en la zona que lleva el mismo nombre, que pertenece al distrito de Villa María del Triunfo ubicado en Lima Metropolitana. Esta unidad es el componente principal de caliza y puzolana, el cual se realiza a un ritmo de producción de 14 000.00 toneladas por día (TMD).

La unidad “Atocongo” se encuentra geográficamente ubicada en la Costa y dentro de la cuenca del Río Lurín, específicamente en el flanco izquierdo de la quebrada Atocongo.

El área es de aproximadamente de 111.0 Ha. El acceso a esta unidad de operación cuenta con dos vías de acceso; la primera vía mediante la panamericana Sur hasta el Km 15, donde sale un ramal con dirección a José Gálvez en Nueva Esperanza. La segunda vía a unos 7.00 km al norte, siguiendo la avenida Tomas Marsano - Pachacutec y luego Nueva Esperanza –José Gálvez, que dista 18.00 Km al sur.

En la tabla N°3.01 y la figura N° 3.1.1, se presenta las coordenadas de ubicación UTM (Universal Transverse Mercator) y el mapa de ubicación política de la unidad “Atocongo”, respectivamente.

Tabla N° 3.01: Coordenadas UTM de la Unidad “Atocongo”

Descripción	Vértice	Coordenadas UTM, Sistema PSAD-56	
		N	E
Atocongo	1	8 664 550	294 133
	2	8 652 164	293 873
	3	8 652 272	292 879
	4	8 654 658	293 139

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 3.1.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Atocongo”.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Fisiografía

En esta sección se trata los aspectos de dinámica y formas del relieve en el área de estudio, los que son de especial interés para la identificación de eventuales impactos debidos principalmente a riesgos de seguridad física. El área de la unidad se encuentra dentro de dos (02) grupos paisajísticos, en primer lugar planicies costeras con llanuras y las vertientes de colinas y montañas de ligera a moderadamente empinadas.

La zona de operaciones se ubica en el piedemonte occidental andino, en la zona de contacto entre las masas rocosas del Batolito Andino Costero y las formaciones sedimentarias y volcánicas litorales, en un medio bioclimático actualmente muy desértico, como lo es el desierto litoral de nieblas invernales de la costa central.

La topografía dominante en el área es de montañas bajas y colinas, que forman pequeñas microcuencas torrenciales, que tuvieron funcionamiento hidrológico durante las pasadas condiciones climáticas del Cuaternario, mientras que en la actualidad constituyen microcuencas desérticas prácticamente estabilizadas. Las vertientes de las montañas bajas y colinas tienen en su base sistemas de planicies conformadas por antiguas acumulaciones aluviales cuaternarias, sobre las cuales no existe actualmente ningún escurrimiento, (WALSH, 2009).

3.1.3 Geología

El área de estudio se localiza en la costa central del Perú, la cual consta de estribaciones montañosas de la Cordillera Occidental y de planicies de piedemonte; asimismo estas unidades incluyen formas litorales, como conos de deyección y depósitos aluviales y eólicos. Las rocas que componen el área son de naturaleza intrusiva y sedimentaria, de depósitos cuyas edades varían del Cretáceo inferior al Cuaternario.

Las rocas sedimentarias están representadas por las calizas de la Formación Atocongo del Cretáceo inferior y por depósitos cuaternarios conformados principalmente por acumulaciones aluviales del pleistoceno; las rocas intrusivas se hallan representadas por unidades del Batolito Costanero, que litológicamente consisten de gabrodioritas y adamelitas.

Además, se han identificado intrusivos menores hipabisales de litología andesítica.

En la zona se reconoce el Complejo Volcánico Fisural Atocongo, consistente a un conjunto de estructuras asociadas a una fractura profunda y antigua, a través de la cual se han generado magmatismos de naturaleza intrusiva, seguidos de actividad hidrotermal posterior. Los cuerpos intrusivos e hipabisales se encuentran afectados por sistemas de fracturas de frecuencia moderada, (WALSH, 2009).

3.1.4 Sismicidad

Los riesgos naturales en el entorno del área de operación de esta unidad, no precisamente está dominado por eventos de geodinámica externa, sin embargo es latente la presencia del peligro sísmico que supone formar parte de la zona de mayor peligro sísmico en el Perú.

De acuerdo a la clasificación del IGP (Instituto Geofísico del Perú), la zona de estudio está considerada como de “Sismicidad Alta”. Esta zona está afectada por la actividad tectónica reflejada en sismos cuya causa principal, es el proceso de subducción de placas y la cercanía de los hipocentros, generalmente menores a los 60 km constituyen focos sísmicos superficiales.

De acuerdo al trabajo de investigación realizada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). “Características Generales de la Tectónica y Sismicidad del Perú”, el área de la unidad correspondería a la zonificación tectónica denominada Fosa Marina.

En conclusión, la zona evaluada se ubica en una región de alto peligro sísmico, tanto por la frecuencia de los movimientos, como por su magnitud, debido a la localización de los focos a escasas profundidades en la corteza, (WALSH, 2009).

3.1.5 Suelos

Los suelos de la unidad “Atocongo” son derivados de material aluvial y coluvio aluvial, ubicadas en la base de las laderas, constituyen la parte de transición hacia las áreas de relieve más abrupto constituidas por las

laderas de colinas. Incluyen suelos sin desarrollo genético con depósitos alternados de limos, arenas finas y gruesas en mixtura con fragmentos rocosos de diferente granulometría (gravas, gravillas, guijarros, bloques, etc.), los cuales generalmente limitan la profundidad efectiva de los suelos haciéndolos menos profundos.

También encontramos suelos derivados de material residual, formados a partir de materiales ígneos intrusivos del Batolito, así como calizas, areniscas y lutitas, materiales sedimentarios intrincados que configuran los primeros contrafuertes occidentales andinos de la zona. Se distribuyen predominantemente en las partes colinosas del área de estudio, de relieve moderadamente inclinado a muy empinado (15 a 50 % de pendiente).

Los suelos son muy superficiales a superficiales limitados por materiales paralíticos o líticos, y en las áreas de fuerte pendiente predominan afloramientos rocosos. Los suelos presentan textura media a moderadamente gruesa, reacción ligeramente ácida a ligeramente alcalina. La fertilidad natural de los suelos es baja, limitada por la baja concentración de materia orgánica y nitrógeno.

En la zona de operación se identificaron seis tipos de suelo o consociaciones agrupadas en dos a nivel de Sub Grupo, que pertenecen a la Subórden Orthents (suelos recientes sin desarrollo genético), en concordancia con su ubicación en la costa desértica, (WALSH, 2009).

3.1.6 Clima y Meteorología

El clima del área de estudio está determinado por los siguientes factores: su ubicación en la zona subtropical en la costa peruana, la cercanía a un área marina influenciada por la Corriente Peruana y la presencia constante de afloramientos de agua sub-profunda (aguas frías), los vientos del Anticiclón del Pacífico Sur y la influencia regional de la Cordillera de los Andes, determinando de esta manera el carácter desértico litoral templado típico de la costa central del país. La temperatura media máxima en los meses de verano oscila entre 25° C y 30° C, en los meses de invierno (junio, julio, agosto y setiembre) fluctúa de 18° C a 22° C.

La precipitación en el área es de tipo llovizna, que ocurre cuando las nieblas se sobresaturan, sus valores normales son reducidos. La humedad relativa en el área de estudio es mayor con respecto a lugares aledaños y esta característica determina que se presente estacionalmente una vegetación de lomas, presentando valores bajos durante los meses de verano (91 a 96%), mientras que los valores más altos se registran entre los meses de julio a septiembre (99%). La dirección predominante del viento es proveniente del Sur. En el verano predominan vientos de dirección Sur que alcanzan velocidades de 3 m/s. Durante los meses de invierno se observa un corto período de cambio en la dirección de los vientos, con predominancia del Este al Sur-Este 2.74 m/s, (WALSH, 2009).

3.1.7 Hidrología

De los estudios de hidrología realizados en la unidad de operación “Atocongo”, se menciona que casi la totalidad del área de influencia del proyecto pertenece a microcuencas desérticas que afluyen en la parte baja del río Lurín, donde no hay cauce ni escurrimiento superficial alguno. En este sentido desarrollar un estudio hidrológico de línea base del proyecto, no tiene aplicación ni incidencia alguna sobre el mismo (WALSH, 2009).

3.1.8 Hidrogeología

Según el análisis hidrogeológico se estima no existe conexión hidráulica con los acuíferos aluviales de las quebradas afluentes y del valle del río Lurín, y conociendo que el principal componente litológico de la unidad de operación “Atocongo” son las calizas de la Fm. Atocongo, que prácticamente son acuífugos, es decir rocas impermeables que no permiten la formación de acuíferos que forman una barrera al flujo subterráneo del acuífero aluvial.

Además del análisis hidrológico se pueden afirmar que no existen condiciones favorables de esorrentía superficial para el escurrimiento del flujo subterráneo, razones por la cual no se reportan niveles freáticos en

la zona de operaciones denominada tajo “Atocongo”, de acuerdo a las investigaciones realizadas mediante perforaciones diamantinas de hasta 200m bajo el nivel de mar, (WALSH, 2009).

En las demás áreas de operación se encontraron niveles freáticos, según los estudios hidrogeológicos solicitados por la empresa cementera.

3.2 Unidad de operación “Conchan”

3.2.1 Ubicación y acceso

La unidad de operación “Conchan”, se encuentra ubicada en el distrito de Villa el Salvador, en la provincia y departamento de Lima, a una altitud que varía desde los 3 a 135 msnm. El mapa de ubicación provincial y distrital se presenta en la figura N°3.2.1.

El acceso a esta unidad de operación, se da en el kilómetro 24 de la panamericana sur, cerca de la refinería Conchan.

Está representada por un depósito de arena eólica de grano medio a fino, de color gris amarillento. Se tiene como registro de cubicación la cantidad de 666 605 m³ (1'053 236 Toneladas métricas) de arena como reserva, en la actualidad esta unidad de operación no se encuentra en explotación. Así mismo se menciona que esta unidad cuenta con zona de puertos para la distribución a nivel nacional de los productos destinados al sector construcción.

Las coordenadas de ubicación UTM (Universal Transverse Mercator), sistema PSAD 56, de la zona de operación “Conchan”, se presenta en la siguiente tabla N° 3.02:

Tabla N° 3.02: Coordenadas UTM de la Unidad “Conchan”

Descripción	Vértice	Coordenadas UTM, Sistema PSAD-56	
		N	E
Conchan	1	8 645 000	289 000
	2	8 645 000	291 000
	3	8 647 000	291 000
	4	8 647 000	289 000

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 3.2.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Conchan”.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Fisiografía

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de influencia del proyecto son: borde litoral; planicies costaneras y conos de deyección; lomas y cerros; valles y quebradas, todas ubicadas entre la línea litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental.

Se han determinado dos paisajes fisiográficos en la zona de operación: colinas y la llanura eólico-marina.

El paisaje colinoso integrado básicamente por el cerro Lomo de Corvina, ubicado paralelo al litoral y a la carretera Panamericana Sur (kilómetros

18-21), se caracteriza por presentar un relieve ligeramente ondulado y laderas con pendientes variables, que fluctúan entre 15-25% en la parte eriaza del cerro Lomo de Corvina, y 9-10% en la Asociación La Concordia. La llanura eólica-marina presenta una topografía más uniforme y se ubica en la parte baja y oriental del cerro Lomo de Corvina.

Su pendiente es casi plana, variando de 0-5% y con un relieve plano ligeramente ondulado, siendo la elevación más alta de la zona con 165 msnm, (WALSH, 2009).

3.2.3 Geología

En el área de interés afloran rocas sedimentarias de la formación Marcavilca (cuarcitas) que sobreyacen a la formación Pamplona ésta última constituida por lutitas y calizas de color gris oscuro tipo bancos. Cubriendo los afloramientos rocosos existen depósitos cuaternarios (marinos, eólicos y aluviales).

La formación Pamplona, esta formación litológicamente se define con arcillo-calcárea, similar a la de la localidad típica, estando aquí constituidas por lutitas y margas en capas delgadas, calizas bituminosas, intercaladas, con algunos niveles de areniscas volcánicas que presentan matriz calcárea gris a negra de grano fino. En la parte superior lodolitas chérticas, calizas carbonosas, todas blanquecinas que dan al terreno un suelo blanquecino característico, cineritas y niveles de volcánicos piroclásticos, así como derrames también de composición andesítica.

Estratigráficamente descansa concordante sobre la formación Yangas e infrayace a la formación Atocongo, (INGEMMET, 1992).

Estos depósitos eólicos tienen su origen en las arenas de playa formadas por la acción de las olas marinas o de los largos sedimentos llevados al mar por los ríos y distribuidos por las corrientes a lo largo del litoral, se encuentran acumulados sobre rocas in situ como en llanuras aluviales, pero alcanzan mayor espesor en taludes y en lugares que presentan desniveles, (INGEMMET, 1992).

3.2.4 Sismicidad

Según el Instituto de Defensa Civil (INDECI), el área del proyecto se encuentra en la zona de intensidad VII del Mapa de Intensidades Sísmicas. Encontrándose la unidad de operación en la zona de alta intensidad, (WALSH, 2009).

3.2.5 Suelos

En el área se reconoció el tipo de suelo y área misceláneo playa (tierras de protección con limitación por salinidad, sodio y erosión), identificándose tres tipos de suelos de las unidades o asociaciones: Asociación Fluvisol Éutrico, Asociación Regosol Éutrico y Litosol Desértico. Por la condición desértica del área estos suelos tienen un régimen de humedad árido, secos la mayor parte del año no son aptos para el desarrollo de actividades agrícolas, (WALSH, 2009).

3.2.6 Clima y Meteorología

De acuerdo a los estudios realizados y a los datos pertenecientes a la estación Pantanos de Villa, el clima en el área de estudio es del tipo desierto superárido y desecado subtropical, con una temperatura promedio anual que fluctúa entre 15.8°C y 26.4°C, una precipitación media anual de 12.47 mm/año considerado como "año seco", una humedad relativa promedio de 87,49% y la velocidad promedio de los vientos en la zona de estudio varía de 0.7 a 1.1 m/s con dirección E, (WALSH, 2009).

3.2.7 Hidrología

La principal fuente de abastecimiento de agua es el río Rímac, cuyos caudales varían entre 15.2 m³ /s (setiembre) y 66.2 m³ /s (febrero, época de precipitaciones en la sierra). La precipitación pluvial es mínima (25.48 mm/año), por lo que no podría ser considerada como fuente de recursos hídricos. Las aguas subterráneas son otra fuente importante de agua potable; SEDAPAL registra en el distrito la existencia de 15 pozos que generan 537.0 l/s de agua, (WALSH, 2009).

3.2.8 Hidrogeología

El área de estudio pertenece a la vertiente del Pacífico y se encuentran ubicadas en la cuenca del río Lurín, la cual tiene sus nacientes en las alturas de Matucana-Huarochirí formado por la unión de los ríos Taquín, Sunicancha, Lahuaytambo y Langa. No existen cursos de agua superficial en el área de influencia directa a la cantera debido a la ausencia de precipitaciones y al no haber flujo continuo de agua ya que el área es de carácter árido; las aguas subterráneas como el acuífero del río Lurín se encuentran a gran profundidad y alejados del área de estudio, (WALSH, 2009).

3.3 Unidad de operación “Las Dunas”

3.3.1 Ubicación y acceso

La unidad “Las Dunas”, se encuentra ubicada en la costa central del Perú, en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes con una altura que se sitúa entre los 40 y los 110 msnm y muy próxima al océano Pacífico. Se encuentra en el distrito de San Clemente, provincia de Pisco y departamento o región de Ica.

La vía de acceso a esta unidad de operación se da en el kilómetro 222, de la panamericana sur, ruta Lima-Ica, siendo esta vía la que divide en dos la zona de operación de la unidad “Las Dunas”. En la figura N°3.3.1, se presenta la ubicación distrital, provincial y regional de la zona de estudio. En la tabla N° 3.03, se presentan las coordenadas de ubicación de esta unidad de operación

Tabla N° 3.03: Coordenadas UTM de la Unidad “Las Dunas”

Descripción	Vértice	Coordenadas UTM, Sistema WGS-84	
		N	E
Las Dunas	1	8 490 748	373 942
	2	8 490 263	375 442
	3	8 483 263	375 417
	4	8 493 248	373 917

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 3.3.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Las Dunas”.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Fisiografía

El área de la unidad de operación “Las Dunas”, corresponde a un relieve casi homogéneo, consistente en planicies y lomadas; constituidas por depósitos aluviales y eólicos respectivamente, las pendientes varían entre 0° y 20°, presentan también depresiones en las que se emplazan los humedales. Se han identificado cuatro (04) unidades fisiográficas: Planicies de humedales y espejos de aguas superficiales. Planicies eriazas con cobertura eólica y lomadas eriazas con cobertura eólica. Las cuatro formas de relieve no presentan erosión y tampoco hay eventos de

naturaleza compleja. Por esto, las escasas ocurrencias geodinámicas son calificadas en todos los casos, como de riesgo nulo o muy bajo (Hydrogeological & Geotechnical Services Perú, 2014).

3.3.3 Geología

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias de la Formación Pisco y depósitos cuaternarios, este último está representado por los conglomerados de la formación Cañete y depósitos eluviales y aluviales y depósitos eólicos en el litoral.

Los depósitos eólicos son originados por la acción del viento, se aprecia en el área de operaciones, abundantes acumulaciones de arena de grano fino, que se encuentran cubriendo grandes extensiones que conforman las planicies irregulares.

Los depósitos aluviales están compuestos por una mezcla de gravas, arenas y limos, los que conforman antiguos y actuales abanicos aluviales, el diámetro de las gravas es variado desde 2 hasta 10 cm., son de redondeados a subangulosos, la matriz varía entre arena limosa y limo arenoso.

El recurso mineral más importante son los sulfatos (yeso y anhidrita), se encuentran cubierto por arenas eólicas modernas y limos de 10 a 20 cm de espesor (Hydrogeological & Geotechnical Services Perú, 2014).

3.3.4 Sismicidad

Según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), el área de emplazamiento de “Las Dunas” se encuentra en la zona IX del Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas.

3.3.5 Suelos

En la zona de estudio se ha identificado dos tipos de suelos; residual y transportado. El primero desarrollado sobre colinas, lomadas, piedemontes y sobre superficiales hidromórficas; y el segundo coluvio-aluvial, depositado por la acción conjunta de aguas locales y gravedad.

Según el Soil Taxonomy, los suelos pertenecen a los órdenes Entisols y Aridisols. Los entisols menos desarrollados, presentan una secuencia de horizontes A-C y C, reconociéndose dos subórdenes: los Aquents, con problemas de saturación de agua y Orthents, el cual muestra evidencia de meteorización y erosión recientes; los Aridisols son propios de climas áridos.

Dentro del área de estudio se han identificado dos (02) órdenes, cuatro (04) subórdenes, cinco (05) grandes grupos y seis (06) subgrupos de suelos. Así mismo se presentan seis (06) unidades de suelos a los cuales se les asigna un nombre la local: Cantera, Granja, Agua santa, Camacho, Ondulado, Panamericana.

De acuerdo a su capacidad de uso mayor los suelos de la zona se clasifican en categorías de Tierras de protección (X), distinguiéndose tres (03) consociación y cuatro (04) asociaciones, (Hydrogeological & Geotechnical Services Perú, 2014).

3.3.6 Clima y Meteorología

El área de influencia de la unidad de operación se encuentra en la costa central entre 0 y 50 msnm, caracterizándose por no presentar variaciones notables de precipitación y temperatura, salvo en años extraordinarios por la presencia del fenómeno de El Niño.

El clima es extremadamente árido, con precipitaciones inferiores a 20 mm, anuales (se presenta solo precipitaciones tipo llovizna, garúa). La temperatura promedio es de 19 °C aproximadamente; las temperaturas más altas corresponden a los meses de verano que varían entre 21.7°C y 22.3°C y las temperaturas mínimas corresponden a los meses de invierno que varían entre 16.0°C y 16.9°C.

La humedad relativa presenta en los meses de verano los valores más bajos (77.8%), y los mayores valores (81.5%) durante los meses de invierno. La dirección predominante del viento es SO y SSO con velocidades entre 2 y 17 m/s (Hydrogeological & Geotechnical Services Perú, 2014).

3.3.7 Hidrología

El área de la “Las Dunas” se localiza entre las cuencas del río Pisco(al sureste) y río San Juan (al noroeste), específicamente en la inter-cuenca aguas debajo de la quebrada Cabeza de Toro, con altitudes que varían entre 50 y 100 msnm.

La cuenca del río Pisco tiene un área de drenaje total 4 376 km², de las cuales 2 736 km², corresponden a la cuenca húmeda, situado entre los 2 500 y 5 225 msnm. Por debajo de 2 500 msnm, la precipitación anual promedio se estima entre 2 y 250 mm, situación que genera muy poco escurrimiento o recarga.

La estación hidrométrica de Letrayoc es la única con que cuenta el río Pisco, está ubicada en la cabecera del valle agrícola; aguas arriba de esta estación, existen aproximadamente 3 000 has bajo riego, cuyo consumo, si bien con poca incidencia, hace disminuir el caudal de escurrimiento natural de la cuenca. La máxima descarga diaria registrada en el período 1933-1999 de este río es de 95.6 m³/s y la mínima de 0.1 m³/s registrados en Febrero de 1937 y Octubre de 1999, respectivamente. La descarga media es de 24.7 m³/s, para el periodo de registro 1950-1999.

Estiman que el agua superficial que se presenta en “Las Dunas” provendría del afloramiento de la napa freática, y de las zanjas antiguas, es decir, que su origen podría ser subterráneo. Otro aspecto a considerar es que las irrigaciones de la zona agrícola elevan la napa freática en forma periódica. En cuanto a calidad el agua es mayormente salubre (SDT entre 8.484 y 24.239 mg/l y el pH neutro 7.9 a 8.0), (WALSH, 2009).

3.3.8 Hidrogeología

En el área de la unidad “Las Dunas” se han definido cuatro unidades hidrogeológicas:

- Un acuífero no confinado superficial entre 0 y 13 m de espesor saturado, compuesto de arena fina con limo e incluyendo la capa de yeso porosa, esta unidad es de permeabilidad mediana a alta.

- Un acuitardo discontinuo, de espesor entre 0 a 19 m, compuesto mayormente de limo arcilloso, que tiene una baja permeabilidad.
- Un acuífero confinado, entre 09 y 36 m de espesor, compuesto de grava y arena, algo de limo, que presenta una alta permeabilidad.
- Un acuitardo basal, formado por tiza y contenido arcilloso de Fm pisco.

El nivel freático tiene variaciones estacionales, en verano es alto y en invierno es bajo, las zonas de recarga son las superficies agrícolas y el río Pisco. La profundidad hacia la napa es de entre 0 y 2.5 m, pero llega hasta 13.0 m en el piezómetro PZ-01.

En cuanto a calidad del agua, los niveles de nitratos en aguas subterráneas son bajos, pero del monitoreo semestral para el año 2010, los valores obtenidos de nitratos resultaron por encima de lo establecido por el ECA-Agua, para la categoría 3 (10 mg/l NO₃). Esto probablemente ocurre debido al uso de fertilizantes en las zonas de cultivo existentes en los alrededores de la concesión, (Hydrogeological & Geotechnical Services Perú, 2014).

3.4 Unidad de operación “Las Hienas”

3.4.1 Ubicación y acceso

La unidad “Las Hienas” se ubica en la costa central del Perú, al Sur de la ciudad de Lima, provincia de Cañete, distrito de San Antonio, altura del Km 86 de la Carretera Panamericana Sur; el área de esta unidad es de 72 hectáreas, aproximadamente.

En la tabla N°3.04, se presenta las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), y en la figura N° 3.4.1, el mapa de ubicación política de la unidad de operación.

Tabla N° 3.04: Coordenadas UTM de la Unidad “Las Hienas”

Descripción	Vértice	Coordenadas UTM, Sistema WGS-84	
		N	E
Las Hienas	1	8 647 309	302 887
	2	8 651 382	301 579
	3	8 652 028	303 402
	4	8 647 955	304 780

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 3.4.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Las Hienas”.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Fisiografía

La fisiografía del área de estudio corresponde al medio desértico costero litoral, se emplaza sobre relieves de caracteres muy opuestos entre sí, de laderas colinosas de fuertes pendientes, en abrupto contacto con las planicies litorales. En consecuencia, las formas de relieve están representadas únicamente por éstas dos categorías fisiográficas. Los puntos topográficos más bajos del área corresponden a las planicies que bordean el tajo inundado, aproximadamente entre 5 y 15 msnm y los

puntos más altos corresponden a las cumbres de las colinas con una altitud de 70 msnm aproximadamente.

En el área de estudio se ha identificado cuatro (04) unidades fisiográficas: Planicie litoral antigua, Glacis, Laderas de colinas ligeramente empinadas, Laderas de colinas empinadas. También se ha identificado Hidromorfismo, solo en sectores puntuales y una leve erosión eólica (WALSH, 2009).

3.4.3 Geología

En la evaluación geológica, se describen las unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio que corresponden a las edades geológicas del Cretácico inferior (Fm. Pamplona), del Pleistoceno (Depósitos Marinos) y del Holoceno (Depósitos Aluviales); además en el área de estudio aflora la Súper Unidad Jecuán consistente en Dioritas que cronológicamente pertenecen a un pulso magnético del Cretácico superior. Estructuralmente el área de estudio no presenta rasgos estructurales, solo se ha identificado fallas paralelas de alcance local de orientación NOO-SEE, que producto de la erosión marina han formado túneles en los afloramientos de rocas ubicados en la zona litoral o de rompiente marina; ubicadas fuera del área de la unidad en su extremo Sur-Oeste.

3.4.4 Suelos

Los materiales parentales son de tipo residual (subtipo mineral sobre las colinas) y transportado (subtipos aluvial, coluvial, marino).

Los suelos del área de estudio son del tipo mineral, que pertenecen a los Órdenes Entisols y Aridisols: Los Entisols son los suelos minerales menos desarrollados, presentan una secuencia de horizontes A-C y C, reconociéndose dos subórdenes: los Aquents, con problemas de saturación de agua y Orthents, el cual muestra evidencia de meteorización y erosión recientes. Por su parte, los Aridisols son propios de climas áridos y exhiben horizonte de diagnóstico sub-superficial, distinguiéndose al suborden Gypsis, rico en yeso.

Se han identificado cuatro tipos de suelos: Humedal, Plantación, Caparosa y Corral; clasificándose en cuatro consociaciones y una asociación.

Asimismo en capacidad de uso mayor de la tierra, se han clasificado las tierras hasta la categoría de subclase, habiéndose identificado solo el grupo Tierras de Protección (X), distinguiéndose una consociación y dos asociaciones, (WALSH, 2009).

3.4.5 Sismicidad

El territorio peruano se ubica en una de las regiones de más alta sismicidad del planeta, y dentro del Perú destaca la región costera, por hallarse frente a la zona de subducción de la placa oceánica de Nazca, que se hunde por debajo de la placa continental sudamericana. Por lo tanto, el área de estudio, resulta ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, tanto por la frecuencia de los movimientos, como por la severidad de ellos, debido a su ocurrencia a escasas profundidades de la corteza. Según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), el área de la concesión se encuentra en la zona VIII del Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas.

Los riesgos físicos naturales atribuibles a los procesos de geodinámica externa son mínimos o casi inexistentes en la zona del área de estudio, que no requieren obras específicas de control.

3.4.6 Clima y Meteorología

El clima de la zona de estudio corresponde al desierto litoral, según la clasificación climática de Koppen sobre la base de la información meteorológica disponible. El clima es extremadamente árido, con precipitaciones inferiores a 20 mm anuales.

La temperatura promedio es de 20.0°C aproximadamente; las temperaturas más altas corresponden a los meses de verano que varían

entre 27.5°C y 28.8°C, y las temperaturas mínimas corresponden a los meses de invierno que varían entre 18.4°C y 20.1°C.

La humedad relativa presenta en los meses de verano los valores más bajos (78.4%), y los mayores valores (88.8%) durante los meses de invierno. La dirección predominante del viento es suroeste, con velocidades aproximadas 0.3 m/s, (WALSH, 2009).

3.4.7 Hidrología

El área de estudio pertenece a la intercuenca desértica del Pacífico, entre las cuencas del río Mala y del río Chilca; es decir, que la totalidad de esta área no comprende ningún cauce ni escurrimiento de agua superficial. Por consiguiente, por no tratarse de un tema aplicable a la descripción de las condiciones del área, en la presente caracterización del ambiente físico no se desarrolla un estudio hidrológico de aguas superficiales, porque no tiene aplicación ni incidencia alguna sobre la unidad, (WALSH, 2009).

3.4.8 Hidrogeología

En el área de estudio el uso de agua subterránea es utilizado limitadamente como fuente de riego; la población es muy escasa y su abastecimiento de agua es mediante camiones cisterna.

El nivel freático es casi superficial, conjuntamente con características de hidromorfismo de esta área (pantanos y totorales) corroboran la superficialidad del agua subterránea.

La unidad “Las Hienas” comprende el dominio del acuífero del río Mala. Este acuífero de naturaleza aluvial forma una banda que se estrecha aguas arriba, de ancho aproximado 6 km en su desembocadura y 0.5 km, a la altura de la localidad de Calango. Aguas arriba de la citada localidad, el acuífero pierde presencia significativa.

Las aguas subterráneas, nacen y se recargan del sector colinoso, al Este de la zona de operación. Los escurrimientos drenan naturalmente hacia el área de la unidad, con un gradiente hidráulico de 0.5% y 1.0%. Los límites impermeables laterales y en profundidad del acuífero son rocas intrusivas,

masivas del Batolito de la Costa. Estas rocas forman una barrera al flujo subterráneo, impidiendo su escurrimiento hacia el sector donde se ubica la cantera.

Se descarta la posibilidad de intrusión marina lateral, debido a la configuración geológica y litológica existente, además a que cesaron las operaciones de bombeo.

3.5 Unidad de operación “Cristina”

3.5.1 Ubicación y acceso

La unidad “Cristina”, se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Pachacámac, provincia y departamento de Lima, según se presenta en la figura N°3.5.1.

Esta unidad de operación, se encuentra en producción diaria promedio de 15 000 toneladas de caliza, en las áreas de trabajo que comprende los componentes del tajo Sur y tajo Norte de la unidad de operación (WALSH, 2014).

El área de extensión es de 860 hectáreas, y la altitud se encuentra entre 250 y 300 msnm.

Las coordenadas de ubicación UTM (Universal Transverse Mercator), sistema PSAD 56, se presentan en la siguiente tabla N° 3.05:

Tabla N° 3.05: Coordenadas UTM de la Unidad “Cristina”

Descripción	Vértice	Coordenadas UTM, Sistema PSAD56	
		N	E
Cristina	1	8 647 677	303 108
	2	8 651 750	301 800
	3	8 652 396	303 623
	4	8 647 323	305 001

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 3.5.1: Mapa de ubicación provincial y distrital de la Unidad “Cristina”.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Fisiografía

La unidad de operación se emplaza en un relieve de colinas y montañas, atravesada por dos quebradas secas de lechos planos relativamente anchos. Los puntos topográficos más bajos del área corresponden a los lechos torrenciales de las quebradas Pucará y Río Seco, aproximadamente entre 250 msnm y 300 msnm. Los puntos más altos corresponden a las cumbres de los cerros que separan estas quebradas, aproximadamente a 600 msnm y 700 msnm.

En la zona se aprecia un claro predominio de relieves, muy opuestos entre sí, de vertientes montañosas de fuertes pendientes homogéneas, en abrupto contacto con las planicies torrenciales de los fondos de valle. En consecuencia, las formas de relieve se representan únicamente por dos categorías fisiográficas.

La fisiografía corresponde al medio desértico costero litoral, donde las vertientes montañosas están expuestas a las húmedas brisas invernales que favorecen un constante humedecimiento superficial y el crecimiento de una cobertura herbácea arbustivo estacional de lomas costeras. Sin embargo, el desarrollo y densidad de las lomas son heterogéneos, lo que depende de la dirección de los vientos y exposición de las laderas, habiendo sectores sobreexpuestos a las brisas, que por su topografía tienden a concentrar la humedad y por lo tanto desarrollan lomas más densas; los otros sectores de vertientes no favorables a la concentración de las brisas y nieblas, prácticamente carecen de vegetación.

Según los fines aplicativos, las formas del relieve se han clasificado en función de sus aspectos morfológicos principales como magnitud, pendiente, origen y material constituyente, (WALSH, 2014).

Tabla N° 3.6: Unidades Fisiográficas de la Unidad Cristina

Unidades Fisiográficas		Símbolo	Caracteres Principales
Planicies	Planicies torrenciales de quebradas secas	Pt – qs	Planicie de fondo de valle, con pendientes de 0% a 4%, casi sin accidentes topográficos. Formado por antiguas acumulaciones torrenciales
	Planicies inclinadas de Glacis	Pi – g	Relieves ligeramente inclinados de 4% a 8% de pendiente. Depósitos de arena y fragmentos rocosos no consolidados, dejados por antiguos torrentes de régimen estacional
Vertientes montañosas y colinas	Colinas con cubierta eólica dispersa	C.ed	Laderas colinosas con pendientes de 10% a 25%, con presencia de sectores con cobertura eólica
	Colinas y montañas bajas estabilizadas	CM-b	Laderas de colinas y montañas bajas, con pendientes de 25% a 50%. Presentan afloramientos rocosos y sectores con cubiertas coluvio-aluviales dispersas.

Fuente: WALSH - Actualización del Plan de Cierre de Minas a Nivel de Factibilidad de las Canteras y Botaderos de la Concesión Cristina, 2014.

3.5.3 Geología

La Geología evalúa los aspectos geológicos del área de estudio. La evaluación incluye la descripción litológica de las formaciones rocosas existentes, de sus caracteres físicos y de sus estructuras; la descripción de la geología histórica, presentada como marco explicativo de los rasgos estratigráficos y estructurales presentes.

La zona donde se ubica la cantera se encuentra en el piedemonte de la cordillera occidental en su zona central, en el contacto entre las formaciones volcánicas sedimentarias mesozoicas de la zona costera y el Batolito Costanero. Este último, consiste de una gigantesca masa de rocas intrusivas y subvolcánicas muy variadas, de granodioritas, gabrodioritas, dioritas, tonalitas y granitos, entre otras. Las formaciones volcánicas sedimentarias están inmersas en el denominado Piso Lima, que presenta un prisma sedimentario de aproximadamente 2 000 m de espesor. Este piso se caracteriza por sus notables variaciones litológicas lo que permite separarlo en varias unidades, (WALSH, 2014).

El desarrollo de esta sección tiene como base el Mapa Geológico del cuadrángulo de Lurín 25-j, el boletín “Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica”, interpretación de imágenes de satélite y complementada con las observaciones efectuadas en el terreno durante la evaluación de campo, (WALSH, 2014).

3.5.4 Suelos

La evaluación de los suelos del área de estudio de la unidad “Cristina”, se realizó sobre la base de las características morfológicas, físicas, químicas y biológicas de los diferentes horizontes que lo conforman.

La clasificación cartográfica de los suelos se hace mediante la determinación de consociaciones y asociaciones. La consociación es una unidad geográfica, en la que predomina un tipo de suelo o un área miscelánea, que cubre más del 85% de su superficie. La asociación es una unidad cartográfica que tiene dos o más unidades en forma dominante, los cuales pueden ser edáficos o áreas misceláneas o ambos,

y cubren el 85.0% o más de su superficie. En la zona de estudio se han determinado siete consociaciones y dos asociaciones, (WALSH, 2014).

3.5.5 Sismicidad

Esta sección evalúa el nivel de riesgo por fenómenos naturales que afecta el área de estudio. Entre estos fenómenos se considera la geodinámica interna, que ocasiona los movimientos sísmicos, y la geodinámica externa, causante de los procesos erosivos.

En el área de estudio los movimientos sísmicos son de ocurrencia esporádica, bastante espaciada a lo largo del tiempo, pero sus riesgos son mayores que los generados por la geodinámica externa, ya que no solamente afectan zonas puntuales sino que sus efectos se extienden a toda la zona en menor o mayor medida en función de su vulnerabilidad, sobre todo considerando las condiciones de seguridad de la población y de la unidad de operaciones, (WALSH, 2014).

Los procesos de geodinámica externa, por lo general son de intensidad baja a muy baja, principalmente a causa de un régimen climático poco agresivo en erosividad; aunque muy eventualmente puedan resultar considerables.

3.5.6 Clima y Meteorología

El presente resumen se desarrolla sobre la base de un análisis regional de los factores climáticos y el análisis de la información meteorológica existente en zonas aledañas al área de estudio. Para la caracterización del comportamiento climático se han analizado cuatro principales variables climáticas: precipitación, temperatura, humedad relativa y vientos; parámetros que condicionan las características del relieve, suelo y la cobertura vegetal. Bajo esta visión, el estudio del clima se constituye en un aspecto central no sólo de la línea base física sino en toda la línea base en general, (WALSH, 2014).

Para complementar el análisis regional, se considera la información meteorológica de estaciones referentes y administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la misma que es

revisada y analizada, estos resultados caracterizan plenamente cada parámetro meteorológico.

Los principales factores climáticos que dominan el área de estudio son: La Corriente de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico Sur y la posición del área de estudio respecto a la circulación general de los vientos, de este modo el clima del área de estudio presenta características particulares.

Precedente las lluvias son mínimas y se producen entre los meses de invierno, parte del otoño y la primavera, estas se presentan en forma de garúas, el origen de ellas es porque en estos meses hay una mayor presencia de nieblas, los que están formados por partículas de agua muy pequeñas en suspensión con un elevado contenido de humedad. Esta es la característica principal de la precipitación; por otro lado se evidencia ligeras gotas en los meses de verano. Estas a diferencia de las garúas invernales, responden a la influencia de las nubes cargadas de humedad y por consiguiente generadoras de las lluvias veraniegas que afectan a la amazonia y los andes, en su desarrollo, primero cruzan los andes para luego descender hacia la costa, en este descenso la humedad es cada vez menor a tal punto que llegan a la costa con valores mínimos de humedad y solo muy ocasionalmente se presentan ligeras lluvias.

La temperatura media está alrededor de 17°C con una variación anual de 7°C. El promedio de las temperaturas máximas medias es de 21°C, pudiendo incluso sobrepasar este valor en los meses de verano, esto es por la mayor incidencia de los rayos solares, todo ello se ve favorecido además por la escasa presencia de nubes en estos meses. En el caso de las temperaturas mínimas, el promedio se encuentra alrededor de 15°C, descendiendo incluso hasta cerca a los 13°C en los meses de invierno (junio – octubre), (WALSH, 2014).

3.5.7 Hidrología

Las cuencas de los ríos Pucará y Seco son áreas donde las precipitaciones están ausentes a lo largo del año, no produciéndose por tanto escorrentía superficial, lo que le da el carácter de cuencas secas, (WALSH, 2014).

3.5.8 Hidrogeología

La presencia de aguas subterráneas en el área de estudio se encuentra restringida a acuíferos aluviales, es decir a acuíferos constituidos por sedimentos aluviales no consolidados del Cuaternario, depositados en los cursos y vecindades de las quebradas Pucará y Río Seco, los cuales no presentan flujo permanente, en el mejor caso estacionario. El acuífero se encuentra limitado por un substratum rocoso basal conformado por las calizas Atocongo y rocas intrusivas del Batolito de la Costa.

La recarga del acuífero aluvial en el área de estudio es muy lenta ya que la precipitación directa de las lluvias o escorrentía es nula y muy escasa, provendría de la precipitación de las partes altas de ambas microcuencas (Pucará y Río Seco). Al parecer no hay recarga por fracturamiento o por otras estructuras geológicas, de acuerdo a las investigaciones de campo efectuadas en el área de la unidad "Cristina", (WALSH, 2014).

De acuerdo a las investigaciones geofísicas realizadas, se ha identificado que la profundidad del nivel freático en la quebrada Río Seco se encuentra a 23.0 m., mientras que el nivel freático en la quebrada Pucará se encuentra a 52.0 m. Cabe recalcar que el agua subterránea está presente sólo en el cauce principal de las quebradas Río Seco y Pucará, conformando estas quebradas un sistema de drenaje subterráneo, no existiendo conexión hidráulica entre dichas quebradas.

Por otro lado, aceptando que la única fuente de recarga subterránea sería el agua precipitada e infiltrada en la cuenca alta, ello implicaría que el acuífero presentaría niveles más altos en los meses de diciembre a abril, mientras que en la época de mayo a noviembre se tendrían niveles más bajos.

En el área de estudio, no hay pozos de abastecimiento de aguas subterráneas. El abastecimiento de agua es externo para el consumo humano e industrial, ya que es traído por cisternas, los cuales se abastecen del pozo surtidor Agua Pura, ubicado en los huertos de Villena en Pachacámac. El pozo surtidor mencionado es monitoreado mensualmente por las entidades a cargo. En el valle de Lurín las aguas

subterráneas son explotadas mediante tajos abiertos y pozos tubulares por los lugareños, orientándose su uso principalmente a la actividad agrícola (sembríos de lúcuma, membrillo, etc.) y para consumo humano en las poblaciones aledañas. Debido a su alto costo, es utilizado en la agricultura preferentemente mediante el sistema de riego por goteo (WALSH, 2014).

CAPÍTULO IV: MONITOREO DEL NIVEL FREÁTICO

Las unidades de operación presentan registros de monitoreo desde el año 2013 hasta el año de elaboración de esta investigación. Estas actividades se realizaron periódicamente en las zonas de influencia de cada unidad, obteniendo información que será analizada en el capítulo VI “Análisis e interpretación de resultados”.

En el presente capítulo se detalla la ubicación de los piezómetros en cada unidad y el procedimiento de trabajo para la obtención de datos para posterior análisis.

En todos los casos la perforación y cota de asiento de los piezómetros sobrepasa la cota del nivel freático según lo recomendado para garantizar un muestreo de las aguas subterráneas en cualquier época del año.

4.1 Descripción del Nivel Freático

El nivel freático es el nivel superior de la superficie freática cuando un punto es liberado a la presión atmosférica. Este nivel puede encontrarse a diferentes profundidades, y se encuentran en función de las condiciones geológicas y meteorológicas, desde sólo unos centímetros hasta decenas de metros por debajo de la superficie.

El concepto del ciclo hidrológico une el área de estudio de agua superficial con la hidrología subterránea o hidrogeología según la figura N° 4.1.1. Estos dos temas están vinculados procesos mínimos que se producen en la zona no saturada. Este ciclo tiene origen en la precipitación, parte de esta es interceptada en la superficie y por los vegetales, el resto llega hasta el subsuelo. El proceso de entrada de agua en el estrato del suelo, junto con el flujo descendente ubicado lejos de la superficie del suelo se llama infiltración, ver figura 4.1.1. Después de que el evento de lluvia intenso haya cesado, el movimiento del agua subterránea no se detiene. La redistribución de la superficie del agua se refiere al movimiento de la infiltración de agua a través del suelo, según la figura N° 4.1.2. Aquí, el agua espacialmente se redistribuye bajo diversos mecanismos de conducción, incluyendo la gravedad, capilaridad, y gradientes de temperatura, (Charbeneau, 2000).

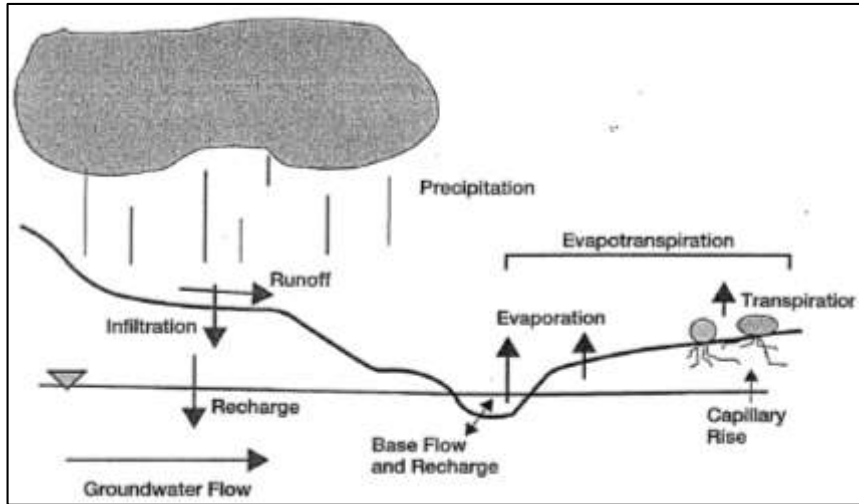


Figura N° 4.1.1: Ciclo Hidrológico.

Fuente: Charbeneau - Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport 2000.

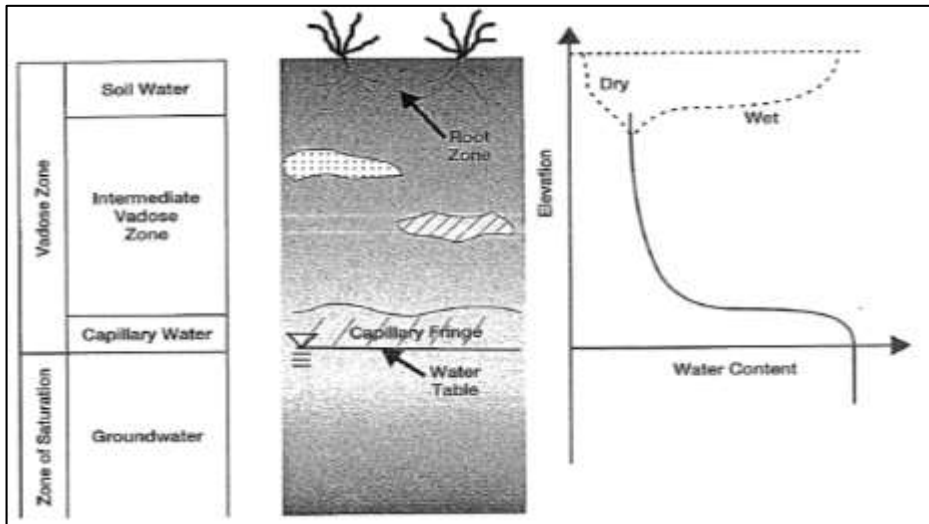


Figura N° 4.1.2: Distribución y clasificación del sistema por contenido de agua.

Fuente: Charbeneau - Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport, 2000.

En la mayoría de situaciones la profundidad varía con las circunstancias meteorológicas de las que depende la recarga de los acuíferos. El nivel freático no es horizontal, a diferencia del nivel superior de los mares o lagos, sino que es irregular, con pendiente de tendencia decreciente desde el nivel superior al nivel fijo inferior (González, 2004).

En la parte superior de la zona saturada, desde el nivel freático hasta la superficie, se encuentra la zona no saturada, en el cual la circulación del agua es de forma vertical, denominada percolación, que es la circulación originada

por gravedad, del agua de infiltración producida por las lluvias, según se presenta en la figura N°4.1.3.

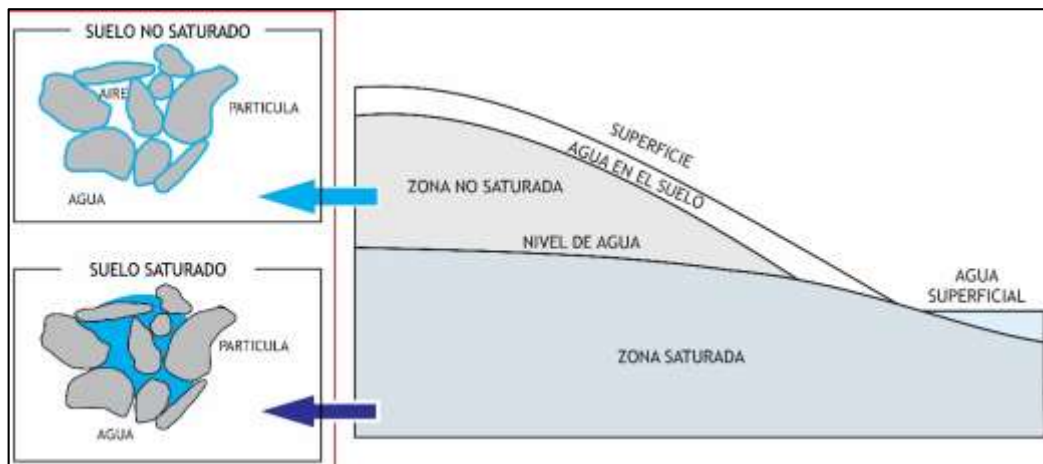


Figura N° 4.1.3: Esquema de identificación de zonas no saturadas y saturadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°4.1.4, se presenta el esquema de un piezómetro de tubo abierto, donde se aprecia la diferencia de nivel freático y nivel piezométrico, en condiciones de flujo de agua estático y variable.

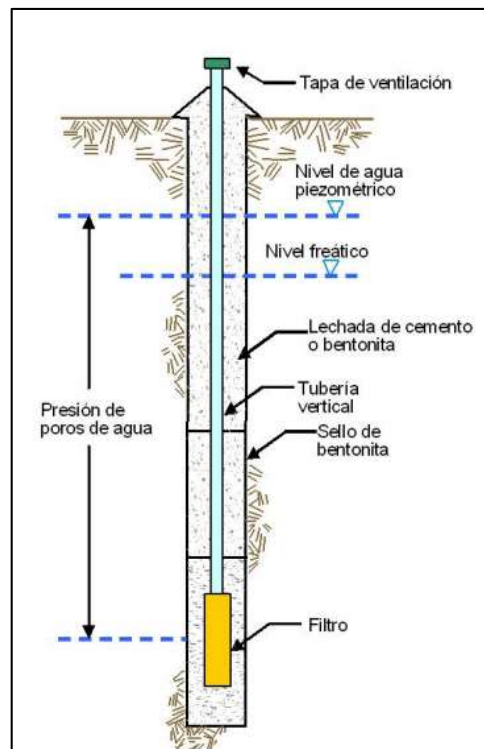


Figura N° 4.1.4: Esquema de un piezómetro de tubo abierto.

Fuente: Alva, J. & Escalaya, M. - Instrumentación geotécnica de la presa Pillones, 2006.

4.2 Ubicación de las estaciones de Monitoreo

➤ Unidad “Atocongo”

Los piezómetros fueron ubicados según los estudios hidrogeológicos solicitados por la empresa cementera “UNACEM”, con el objetivo de cumplir las normas solicitadas por las entidades de fiscalización ambiental. Estos piezómetros de tubo abierto, Modelo Casagrande, de diámetro 2”, corresponden a tuberías de PVC Sch 40 y de filtros ranurados.

Esta red Piezométrica cuyo número, profundidad, tipo y ubicación fue definida por la empresa consultora a cargo del estudio hidrogeológico, quienes definieron la ubicación de los 09 piezómetros de profundidades variables entre 80m y 190m, cada uno, cuya distribución e influencia de cada punto de monitoreo abarca de forma general toda las áreas de la zona de cantera y planta industrial de la Planta Atocongo, ubicados a una altitud promedio entre 150 a 250 msnm., (Geo Master, 2015).

Esta red de monitoreo comprende la zona de cantera, zona industrial, campamentos, zona de botadero y sector de centro poblado el Guayabo, ubicado en los distritos de Villa María del Triunfo y Pachacámac, provincia y departamento de Lima, en la figura N°4.2.1, se presenta la vista satelital de ubicación de los piezómetros.

En tabla N° 4.01, se presenta las coordenadas de ubicación y las cotas de las estaciones de monitoreo:

Tabla N° 4.01: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad “Atocongo”

Piezómetro ambiental	Ubicación	Coordenadas UTM PSAD-56		Cota (msnm)
		Norte	Este	
PZ - 01	Quebrada Blanca	8 653 107.14	292 433.99	223
PZ - 02	Atocongo lado norte	8 652 321.11	293 209.93	264
PZ - 04	Atocongo centro	8 651 803.87	293 197.29	191
PZ - 05	Atocongo este	8 651 772.72	294 080.01	246
PZ - 06	Atocongo sector guayabo	8 651 088.16	296 012.48	230
PZ - 07	Cancha pH carbón	8 652 046.13	292 942.94	197
PZ - 08	Campamento	8 651 259.36	292 576.43	192
PZ - 09	Atocongo Puquio	8 651 325.43	293 129.89	-
PZ - 10	Atocongo botadero Puquio	8 650 705.38	292 900.48	215

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.2.1: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Atocongo”.

Fuente: Google Earth.

➤ Unidad “Conchan”

En esta unidad se presenta una red piezométrica constituida por 05 estaciones de monitoreo en el cual se presenta instalados piezómetros dobles, para los trabajos de monitoreo del nivel freático y de calidad de agua solicitados por la empresa cementera, y en cumplimiento de la normas ambientales.

La red de monitoreo está compuesta por piezómetros dobles de diámetro 1 1/2” y 1 1/4”, colocados dentro de una misma perforación, con tuberías de PVC Sch 80 y filtros ranurados, que podrán captar las aguas subterráneas que se filtran al subsuelo, (Geo Master, 2015).

Estas estaciones fueron ejecutados y ubicados según el estudio hidrogeológico realizado en la zona de operación de la Unidad “Conchan”, para trabajos de monitoreo ambiental de captación de las aguas subterráneas dentro del área de concesión que corresponde al Muelle “Conchan”, ubicado a la Altura del Km. 24.5 de la carretera Panamericana Sur, distrito de Villa el Salvador, en la provincia y departamento de Lima. En la figura N°4.2.2, se presenta la vista satelital de ubicación de los piezómetros en esta unidad de operación.

La ubicación de las estaciones de monitoreo se presentan en la tabla N° 4.02, siendo el tipo de Datum empleado el PSAD-56.

Tabla N° 4.02: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad “Conchan”

Piezómetro Ambiental	Ubicación	Coordenadas UTM PSAD-56		Cota (msnm)
		Norte	Este	
PZ - 01	Km. 24 Pan Sur , dentro de las instalaciones Muelle Conchan, frente a la refinería Conchan	8 645 587	289 557	3
PZ - 02	Km. 24 Pan Sur , dentro de las instalaciones Muelle Conchan, frente a la refinería Conchan	8 645 669	289 709	3
PZ - 03	Km. 24 Pan Sur , dentro de las instalaciones Muelle Conchan, frente a la refinería Conchan	8 645 573	289 747	3
PZ - 04	Se encuentra en Loma de Corvina 5, Muelle Conchan	8 646 005	289 384	18
PZ - 05	Se encuentra en Loma de Corvina 5, Muelle Conchan	8 645 673	289 946	24

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.2.2: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Conchan”.

Fuente: Google Earth.

➤ Unidad “Las Dunas”

En esta unidad se instalaron 06 estaciones de monitoreo que se ubicaron según el estudio hidrogeológico solicitado por UNACEM, en cumplimiento

de la normas ambientales, con el objetivo de realizar trabajos en la Unidad “Las Dunas”.

Estos piezómetros de tubo abierto son de diámetro 1 1/4”, con tuberías de PVC Sch 80 y filtros ranurados, (Geo Master, 2015).

En el estudio hidrogeológico se definieron la ubicación de los 06 piezómetros de profundidades variables entre 5m y 26m. cada uno, cuya distribución e influencia de cada punto de monitoreo abarca de forma general toda la cantera de Yeso, a una altitud promedio entre 39 a 80 msnm, a la altura del Km 221 al Km 224 de la Panamericana Sur, lado derecho e izquierdo, perteneciente al distrito de San Clemente, Provincia de Pisco, departamento de Ica. La figura N°4.2.3, presenta la imagen o vista satelital, de ubicación de los piezómetros instalados en esta unidad.

Esta red de monitoreo podrá captar las aguas subterráneas que se filtran al subsuelo, además se podrá conocer la existencia de corrientes o escorrentías subterráneas que entran en contacto directo con el nivel freático correspondiente a las aguas del Río Pisco, que han formado afloramientos de agua dulce en la zona de la cantera de Yeso con el nivel freático existente, (Geo Master, 2015).

En la siguiente tabla N° 4.03, se presenta las coordenadas y cotas de las estaciones de monitoreo:

Tabla N° 4.03: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad “Las Dunas”.

Piezómetro Ambiental	Ubicación	Coordenadas UTM PSAD-56		Cota (msnm)
		Norte	Este	
PZ - 01	Km. 222 Pan Sur, Ruta Lima-Ica, lado de derecho. Pampa de Invasión.	8 493 927	376 940	89
PZ - 02	Km. 222 Pan Sur, Ruta Lima-Ica, lado de derecho. Dentro de botadero.	8 493 927	375 043	39
PZ - 05	Km. 222 Pan Sur, Ruta Lima-Ica, lado izquierdo dentro de la cantera al lado del riachuelo.	8 492 538	376 248	95
PZ - 06	Del punto PZ-02 a 500 m. dentro del botadero UNACEM Pisco.	8 491 956	374 337	53
PZ - 09	Del punto PZ-05 a 450 m. dentro de la cantera- Pisco San Clemente.	8 491 175	376 109	92
PZ - 10	Km. 222 Pan Sur, Ruta Lima-Ica, afuera de la cantera lado izquierdo.	8 490 533	377 077	75

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.2.3: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Las Dunas”.

Fuente: Google Earth.

➤ **Unidad “Las Hienas”**

En esta unidad se instalaron 03 estaciones de monitoreo, que se ubicaron según los estudios hidrogeológicos solicitados por la empresa “UNACEM”, en cumplimiento de la normas ambientales, con el objetivo de realizar trabajos en la unidad de operación “Las Hienas”.

Esta red Piezométrica cuyo número y ubicación fue definida en una visita de campo realizada a la cantera “Las Hienas”, por parte del consultor geotécnico y los ingenieros del área de medio ambiente de la empresa cementera.

Los piezómetros de tubo abierto de diámetro 1 1/4”, con tuberías de PVC Sch 80 y filtros ranurados, podrán captar las aguas subterráneas que se filtran al subsuelo, además se podrá conocer la existencia de corrientes ó escorrentías subterráneas que entran en contacto directo con el nivel freático correspondiente a las aguas del Río Mala, (Geo Master, 2015).

Donde se definieron la ubicación de los 03 piezómetros de 15m de profundidad cada uno, cuya distribución e influencia de cada punto de monitoreo abarca de forma general toda a cantera de Yeso, ubicados a una altitud promedio de 8 msnm, a la altura del Km 83+500 de la Panamericana Sur, lado derecho, pasando la Playa la Ensenada, perteneciente al distrito

de San Antonio, Provincia de cañete, departamento de Lima. En la figura N° 4.2.4, se muestra la vista satelital de la ubicación de los piezómetros instalados en la unidad de operación “Las Hienas”.

Se presenta en la tabla N° 4.04, las coordenadas de ubicación de las 03 estaciones:

Tabla N° 4.04: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad “Las Hienas”.

Piezómetro Ambiental	Ubicación	Coordenadas UTM PSAD-56		Cota (msnm)
		Norte	Este	
PZ - 01	Km. 83, Lado der. Pan Sur, Ruta Lima-Ica, al lado de la laguna. (Mala-Cañete)	8 601 452	319 209	17
PZ - 02	Km. 83, Lado der. Pan Sur, Ruta Lima-Ica, al centro de Zona Caliza(Mala)	8 645 669	319 165	16
PZ - 03	Km. 83, lado der. Pan Sur, Ruta Lima-Ica, al lado carretera (Mala – Cañete)	8 645 573	319 586	17

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.2.4: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad “Las Hienas”.

Fuente: Google Earth.

➤ **Unidad “Cristina”**

En la unidad de operación “Cristina” se instalaron 07 estaciones de monitoreo que fueron ubicados en cumplimiento del estudio hidrogeológico realizado en el área de trabajo concesionado por “UNACEM”.

Estos piezómetros de tubo abierto de diámetro 2”, con tuberías de PVC Sch 40 y filtros ranurados, que podrán captar las aguas subterráneas que se filtran al subsuelo.

Los Piezómetros están distribuidos dentro de la cantera Pucará ubicada en dentro de la unidad de operación “Cristina”, de tal manera que las aguas existentes en el subsuelo provenientes del Río Lurín, además de flujos por escorrentías superficiales y precipitaciones que se infiltran al sub suelo sean captadas por los piezómetros y así poder monitorear el nivel y la calidad de estas aguas durante todas las épocas de año con el fin de cumplir con las exigencias, a fin de dar cumplimiento al estudio Hidrogeológico y legislación ambiental vigente. Han sido instalados 07 piezómetros de profundidades variables entre 130m a 162m de profundidad, según se presenta en la figura N° 4.2.5.

En la siguiente tabla N°4.05, se presentan las coordenadas UTM de las estaciones de monitoreo en operación:

Tabla N° 4.05: Ubicación de las estaciones de monitoreo, Unidad “Cristina”.

Piezómetro Ambiental	Ubicación	Coordenadas UTM PSAD-56		Cota (msnm)
		Norte	Este	
PZA-01 (Inclinado)	Pucará	8 647 762	303 429	285
PZA-02 (Vertical)	Polvorín	8 647 637	303 632	267
PZA-03 (Vertical)	Parcela	8 648 447	304 142	326
PZA-05 (Vertical)	Quebrada rio seco	8 650 917	303 471	402
PZA-06 (Vertical)	Quebrada rio seco	8 650 854	302 625	342
PZA-07 (Vertical)	Cerro Pucará	8 649 251	303 195	576
PP5-01 (Vertical)	Cerro Pucará	8 647 087	303 977	279

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4.2.5: Vista satelital de la ubicación de los piezómetros, Unidad "Cristina".

Fuente: Google Earth.

4.3 Parámetros de campo medidos

Los parámetros de campo medidos para la determinación y monitoreo del nivel freático, son los siguientes:

- Longitud total (m): La longitud total del piezómetro, incluye la longitud de la tubería libre.
- Longitud de la Sonda (m): Es la longitud medida desde el extremo superior del piezómetro hasta el nivel detectado por la sonda eléctrica.
- Longitud de la tubería libre (m): Es la longitud que sobresale del piezómetro respecto al nivel del terreno natural o base de la estación.
- Nivel freático (m): Es la diferencia de nivel que existe entre la cota del terreno natural y la longitud de sonda menos la longitud de la tubería libre.

En la figura N° 4.3.1, se presenta el esquema de medición de datos, para el registro de nivel freático.

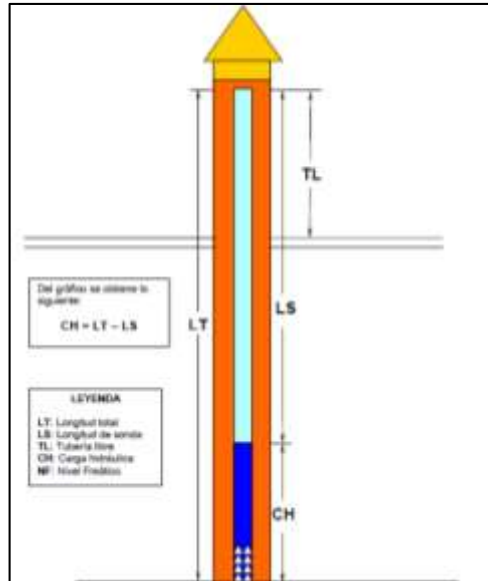


Figura N° 4.3.1: Medición del Nivel Freático.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Equipos utilizados

El equipo empleado en las actividades de monitoreo del nivel freático son:

➤ Limnómetro Eléctrico Portátil:

Esta sonda eléctrica permite determinar el nivel freático, consiste en un circuito eléctrico abierto, que mediante la separación de las puntas de un cable eléctrico, al introducirse en el piezómetro y descenderlo hace contacto en el agua logrando cerrar el circuito; en la superficie se nota porque se genera un cambio de voltaje que prende una luz o activa una chicharra. En la figura N° 4.4.1, se presenta el tipo de limnómetro eléctrico que se emplea para registro de nivel freático.



Figura N° 4.4.1: Limnómetro eléctrico Portátil.

Fuente: Solinst - Manual del Producto Solinst, 2014.

4.5 Metodología para la determinación del Nivel Freático

La medición del nivel freático se realizó con una sonda de monitoreo de aguas subterráneas. Este equipo es muy resistente y provee mediciones exactas de niveles estáticos en pozos. Consta de una cinta métrica marcada en intervalos de 1 mm y puede llegar hasta una longitud de 200 metros. Esta cinta posee conductores de acero inoxidable trenzados que proporcionan larga duración. El diseño de la cinta impide que ésta se adhiera a superficies mojadas en pozos de monitoreo. Posee un carrete con freno y manija para transportarlo. Usa una batería de 9 voltios, que está localizada en la cara frontal y es de fácil acceso. Posee alarma visual y sonora que se activan al contacto con agua.

A continuación se procede a describir el proceso de medición de nivel freático.

1er. Paso:

Luego de retirar los accesorios de seguridad de las cajas que sirven de protección a los piezómetros, se procede a extraer el tubo saca-muestras que se encuentra sumergido dentro del piezómetro, según se muestra en las fotos N° 4.5.1 y N° 4.5.2.



Foto N°4.5.1: Verificación de los piezómetros.



Foto N°4.5.2: Proceso de extracción del tubo saca-muestras.

2do. Paso:

Al extraer el tubo saca-muestras, se tiene que esperar a que el nivel del agua dentro del piezómetro se estabilice, esto se verifica introduciendo el limnímetro eléctrico periódicamente hasta encontrar el nivel de agua. Al verificar que la profundidad a la que se encuentra el agua se encuentra constante, se procede a registrar la longitud de sonda alcanzada hasta el contacto con el agua subterránea.



Foto N° 4.5.3: Verificación de la medida obtenida con el limnímetro.



Foto N° 4.5.4: Medición del nivel detectado por el limnómetro eléctrico.



Foto N° 4.5.5: Verificación de la medida obtenida con el limnómetro.

3er. Paso:

Los datos obtenidos son registrados para luego ser operados posteriormente para obtener el nivel freático correspondiente a cada piezómetro, según se muestra en la foto N° 4.5.6.



Foto N° 4.5.6: Anotación y comparación de datos obtenidos.

Obtenidos los datos de campo de las 05 unidades de operación, se procesa la información y se procede a adicionar a la base de datos almacenada, posteriormente se generan tablas y gráficos, que servirán para el análisis e interpretación de resultados de este trabajo de investigación.

Los datos fueron recopilados y se presentan en los anexos adjuntos de la presente tesis.

CAPÍTULO V: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En este capítulo se describirá brevemente el análisis de la calidad del agua subterránea, así como los tipos de contaminación, se detallará los pasos realizados, los parámetros medidos, los ensayos realizados en laboratorio y en campo, para la obtención de los resultados de las muestras de agua subterránea extraídas durante la ejecución de las actividades de monitoreo a las unidades de operación de “UNACEM”.

Los parámetros medidos y obtenidos en campo fueron contrastados con los valores máximos permisibles que se encuentran en los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua), que define por categorías los indicadores, con el objetivo de garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión y monitoreo ambiental sofisticados, de evaluación y análisis detallado.

5.1 Calidad química del Agua Subterránea

La calidad química del agua subterránea y aquellos procesos de contaminación presentan una incidencia significativa en muchas actividades mineras, industriales y urbanas. Algunas veces los procesos físico-químicos que se desarrollan entre el agua subterránea y su medio de soporte, sea el medio natural, influenciado por las formaciones geológicas, por las actividades de operación y constructivas como las excavaciones abiertas, excavaciones subterráneas, rellenos compactados, cimentaciones entre otros, (González, 2004).

La calidad del agua es en general muy variada, se pueden encontrar acuíferos con aguas muy puras y otras en las que los contaminantes exceden los valores máximos permisibles.

De forma general se puede expresar que las aguas subterráneas se encuentran más protegidas frente posibles contaminaciones respecto a las aguas superficiales, pero una vez que ha originado el contaminante o focos de contaminación al flujo subterráneo, se hace operaciones más difíciles y costosas para detectar su presencia, para poner en marcha medidas para

detenerlo antes de que afecte las actividades de operación y sobre todo al ecosistema, (González, 2004).

El flujo de agua subterránea se movilizan desde una zona de recarga, se produce la infiltración del agua de lluvia u otras fuentes, hasta una zona de descarga, por la que salen del acuífero. Estos procesos de transporte difieren de la zona saturada a la zona no saturada, en ambos casos depende del movimiento del agua.

En zonas no saturadas el movimiento del agua, y del contaminante, es vertical hacia el nivel freático, para el caso en zonas saturadas el movimiento del flujo de agua es horizontal, o en cualquier caso está condicionado por los gradientes freáticos en el acuífero. En la figura N°5.1.1, se presenta el esquema del proceso de contaminación y detección de contaminantes.

Luego de que el contaminante ha alcanzado el flujo subterráneo, este se moverá en la misma dirección, sentido y a la misma velocidad que éste.

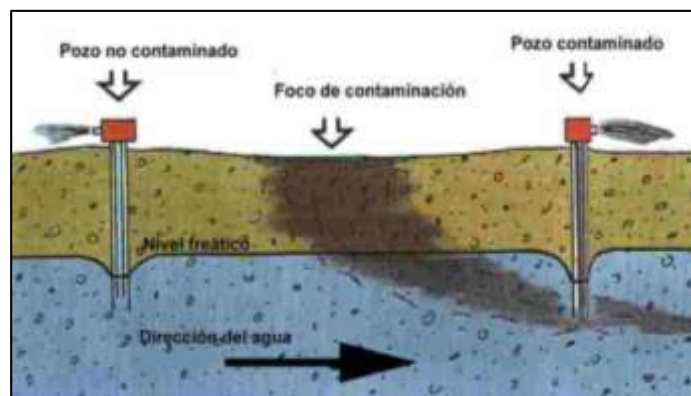


Figura N° 5.1.1: Proceso de contaminación por infiltración.
Fuente: Geo Master - Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. "Cristina", 2015.

5.2 Contaminación del agua subterránea

La contaminación del agua subterránea es el deterioro de su calidad natural ocasionado por diversas actividades que la hacen no apta para el uso al cual estaban destinadas o por destinarse. Estas actividades son las que otorgan el nombre al tipo de contaminación, entre las que se mencionan contaminación minera, agrícola, industrial, etc.

Otra forma de expresar el tipo de contaminación es la puntual o extensiva, que se encuentran en función de la superficie afectada, (González, 2004).

5.3 Calidad del Agua Natural

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), fue publicada mediante D.S. N°002-2008-MINAM, el 31 de julio del 2008, dos años más tarde se publicó el Reglamento de Ley de Recursos Hídricos; ambos establecen la clasificación de los cuerpos de agua mediante las categorías para el uso del recurso hídrico de los cursos de agua sobre la base de características fisicoquímicas que debían reunir las aguas para ser consideradas aptas para el uso correspondiente.

Los ECA-Agua, presentan parámetros para las 4 categorías y sub categorías; en la tabla 5.01, se presenta las 4 categorías y Subcategorías del ECA-Agua.

Tabla N° 5.01: ECA-Agua, categorías y subcategorías.

Categoría	Sub-Categoría	Clase
CATEGORÍA 1: Poblacional y recreacional.	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.	A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
		A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
		A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
	Aguas superficiales destinadas para recreación.	B1: Contacto primario. B2: Contacto secundario.
CATEGORÍA 2: Actividades Marino Costeras.	C1: Sub-categoría 1: extracción y cultivo de moluscos bivalvos	No tiene.
	C2: Sub-categoría 2: extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas.	No tiene.
	C3: Sub-categoría 3: Otras actividades.	No tiene.
CATEGORÍA 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales.	Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.	No tiene.
	Bebida de animales	No tiene.
CATEGORÍA 4: Conservación de ambiente acuático.	Lagunas y lagos	No tiene.
	Ríos	Costa y Sierra.
		Selva.
	Ecosistema Marinos Costeros	Estuarios.
Marinos.		

Fuente: MINAM-Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, 2008

5.4 Parámetros de campo medidos

Los parámetros elegidos para evaluación de la calidad de agua en campo, son los siguientes:

- pH (Unid. de pH);
- Temperatura (°C);
- Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- Oxígeno Disuelto (mg/L).

Estos parámetros físico-químicos se presentan a continuación:

- pH: Características ácidas/básicas del agua. Depende mucho de la interacción entre roca y agua. El término pH es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno o, más exactamente, la actividad del hidrógeno.
- Temperatura, T (°C): Es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Controla la velocidad de reacciones químicas. Aumenta con la profundidad a un ritmo de 30 °C/Km en términos medios y con un gradiente mayor en zonas volcánicas. Variaciones estacionales permiten utilizar la temperatura como trazador.
- Conductividad Eléctrica, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$): La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir electricidad, se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm^2 de superficie cada uno y separados 1 cm, situados en el seno del agua a medir de forma que el medio se pueda considerar infinito.
- Total de Sólidos Disueltos, TDS (ppm): Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión microgranular. En general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeño como para sobrevivir a la filtración a través de un filtro con poros de 2 micrómetros.
- Oxígeno disuelto, OD (mg/l): Se refiere a la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.

5.5 Metodología para la determinación de parámetros de campo

Los parámetros pH, Temperatura, Conductividad y Oxígeno Disuelto fueron determinados con el Multiparámetro de la marca WTW, modelo 350i. Las normas de referencia, unidades y límites de detección.

Tabla N° 5.02: Normas de Referencia, Parámetros Físico-Químicos.

Parámetros	Unidades	Límite de Detección	Norma de referencia
pH	Und.pH	-	SM 4500H+ B
Temperatura	°C	-	SM 2550-B
Conductividad	μS/cm	-	SM 2510-B
Oxígeno disuelto	Mg/L	0,01	SM 4500-O-G

Siglas "SM": Standard methods for the examination of water and wastewater
APHA, AWWA, WEF 22nd Ed. 2012.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla el proceso de extracción de muestras y la obtención de los parámetros Físico-Químicos, realizadas a una estación de monitoreo.

1er. Paso:

Se procede a la extracción de muestras de agua mediante el empleo de tubo saca-muestras, el contenido de agua retirado del piezómetro es colocado en recipientes libres de agentes contaminantes, según la foto N° 5.3.1.



Foto N°5.3.1: Extracción de muestras de agua del piezómetro.

2do. Paso:

Colocada la muestra de agua en envases rotulados, se procede a analizar en el mismo lugar una cierta cantidad muestreada con el equipo multiparámetro, para determinar in situ los valores físico-químicos del agua extraída de la estación de monitoreo, según se presenta en las fotos N°5.3.2 y 5.3.3.



Foto N°5.3.2: Realización de ensayos físico-químicos en campo.



Foto N°5.3.3: Verificación de datos y registro de resultados obtenidos en campo con el Multiparámetro WTW, modelo 350i.

5.6 Parámetros de ensayo de laboratorio

A continuación en la Tabla N° 5.03, se presentan los parámetros de ensayo a analizar en cada una de las estaciones de monitoreo:

Tabla N° 5.03: Parámetros de ensayos en laboratorio

Tipo de Producto	Parámetros
Aguas Subterráneas	Alcalinidad total, Bicarbonatos, Carbonatos, Bromuros, Cloruros, Dureza total, Fluoruros, Fosfatos, Fosforo total, Metales Totales ICP, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, TSS, TDS, Sulfatos, Sulfuros de hidrógeno y Sulfuros.

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Metodología para la determinación de ensayos en laboratorio

En las tablas N° 5.04 y N° 5.05, se detalla el tipo de frascos, preservantes, volúmenes y métodos de ensayo aplicados en laboratorio, para la realización del análisis químico, tomando como referencia las normas establecidas por “Standard Methods for the examination of Water and Wastewater” (SM). APHA, AWWA, WEF 22nd Ed. 2012; y la U.S. “Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes” (EPA).

Tabla N° 5.04: Colección y Preservación de muestras

Parámetros	Recipiente	Cantidad Mínima de muestra ml	Preservación (Refrigeración $\leq 6^{\circ}\text{C}$)	Tiempo de almacenamiento
Alcalinidad, Bicarbonatos, Carbonatos	p	500	Refrigerar, llenar al tope sin burbujas de aire.	14 días
Bromuros	p	500	No requiere	28 días
Cloruros	p	500	No requiere	28 días
Dureza total	p	500	Adicionar 2 ml de HNO_3 ó H_2SO_4 hasta $\text{pH}<2$.	28 días
Floruros	p	250	No requiere	28 días
Fosfatos	p	500	Refrigerar	48 horas
Fosforo total	p	250	Refrigerar, adicionar 2 mL de H_2SO_4 $\text{pH}<2$.	28 días
Metales totales (ICP)	p	500	Adicionar 2 mL de HNO_3 a $\text{pH}<2$.	28 días
Nitratos	p	500	Refrigerar	48 horas
Nitritos	p	500	Refrigerar	48 horas
Nitrógeno amoniacal	p	500	Refrigerar. Analizar lo antes posible o adicionar 2 mL de H_2SO_4 a $\text{pH}<2$.	28 días
Nitrógeno total	p	500	Refrigerar. Adicionar 2 mL de H_2SO_4 $\text{pH}<2$.	28 días
TSS, TDS	p	1000 c/u	Refrigerar 4°C	7 días
Sulfatos	p	300	Refrigerar	28 días
Sulfuros	p	500	Adicionar 1ml de Acetato de Zn y NaOH (4 lentejas) a $\text{pH}>9$. Llenar al tope y refrigerar. Solo para H_2S no ionizado medir: pH, conductividad y temperatura en campo	7 días
Sulfuros de hidrógeno				

Nota: P= Plástico; V= Vidrio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5.05: Métodos de Ensayo en laboratorio

Parámetros	Normas	Unidad	Límite de Detección
Alcalinidad total	SM 2320-B	mg/L CaCO ₃	1
Bicarbonatos	SM 2320-B	mg/L	1
Carbonatos	SM 2320-B	mg/L	1
Bromuros	SM 4500 Br-B	mg/L	0,1
Cloruros	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,015
Dureza total	SM 2340 C	mg/L	1
Fluoruros	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,008
Fosfatos	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,011
Fosforo total	SM 4500-P-E	mg/L	0,01
Metales totales(ICP)	EPA 200.7(1994)	mg/L	...
Nitratos	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,001
Nitritos	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,0002
Nitrógeno amoniacal	SM 4500-NH3-D	mg/L	0,02
Nitrógeno total	SM 4500-Norg-B	mg/L	1
TSS, TDS	SM 2540-D	mg/L	2
Sulfatos	Determinación de Aniones por Cromatografía Iónica. (Basado EPA 300.1)	mg/L	0,015
Sulfuros	SM-4500 S=D,H	mgS=/L	0,002
Sulfuros de hidrógeno	SM-4500 S=D	mg/L	0,002

Siglas "SM": Standard methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22nd Ed. 2012. "EPA":U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.

Fuente: Elaboración propia.

5.6 Equipos de Laboratorio

En la siguiente tabla N° 5.06, se detallan los equipos utilizados en los ensayos de laboratorio realizados a cada una de las muestras obtenidas en campo, para la realización del análisis químico del agua subterránea, extraída de los piezómetros de tubo abierto.

Tabla N° 5.06: Equipos de Laboratorio

Código	Equipo	Marca	Modelo/Material	Nro. de Serie/Clase
MAMB-59	Multiparámetro	Thermo Orion	5 Star	B38624
MAMB-75	Termo higrómetro	VWR	35519-045	122219953
MAMB-24	Baño Termostático	VWR	No indica	No indica
MAMB-71	Balanza	Santorius	CPA 225D	25701812
MAMB-98	Espectrofotómetro UV/VIS	Thermo Scientific	Genesys 10S	2L5R294209

Fuente: Elaboración propia.

Luego de identificar los parámetros, la metodología de medición, los equipos de laboratorio; se procedieron a realizar los análisis químicos en campo y posteriormente en los laboratorios asignados por la empresa cementera. El análisis e interpretación de los resultados obtenidos se presentan en el capítulo VI correspondiente al análisis de la calidad del agua subterránea.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo abarca la elaboración de los gráficos que se obtienen al procesar la información recopilada en campo, con el objeto de interpretar y validar los resultados de cada estación de monitoreo, durante el tiempo que se ejecutaron las mediciones.

6.1 Nivel Freático

Luego de la obtención de los datos en campo, se procedió a realizar el análisis mediante Tablas y gráficos, que muestran los detalles, de cómo los niveles freáticos del agua van cambiando respecto al tiempo, en aquellos lugares donde se fueron instalados los piezómetros de tubo abierto, en cumplimiento de los estudios hidrogeológicos solicitados por la empresa cementera.

Los gráficos relacionan los intervalos de meses y el nivel de aguas subterráneas alcanzados durante el tiempo de monitoreo de los piezómetros.

Estas mediciones se realizaron cada quince (15) días y en algunos casos se registraron cada treinta (30) días.

La realización de los gráficos es necesaria para visualizar e interpretar la variabilidad del nivel del agua subterránea durante el tiempo de operación.

6.1.1 Unidad de operación “Atocongo”

➤ Atocongo PIEZ-01:

Del gráfico N° 6.01, de periodo vs. Cota (msnm), se observa que el valor mínimo del nivel de agua subterránea, ocurrió en el mes julio de 2014, y tiene como máximo nivel alcanzado el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y enero de 2015. El rango de diferencia de valores alcanzados en la estación de monitoreo de nivel de agua es 1.40 m.

- Profundidad de piezómetro 01 (m): 153.2;
- Cota de terreno natural (msnm): 233.0.

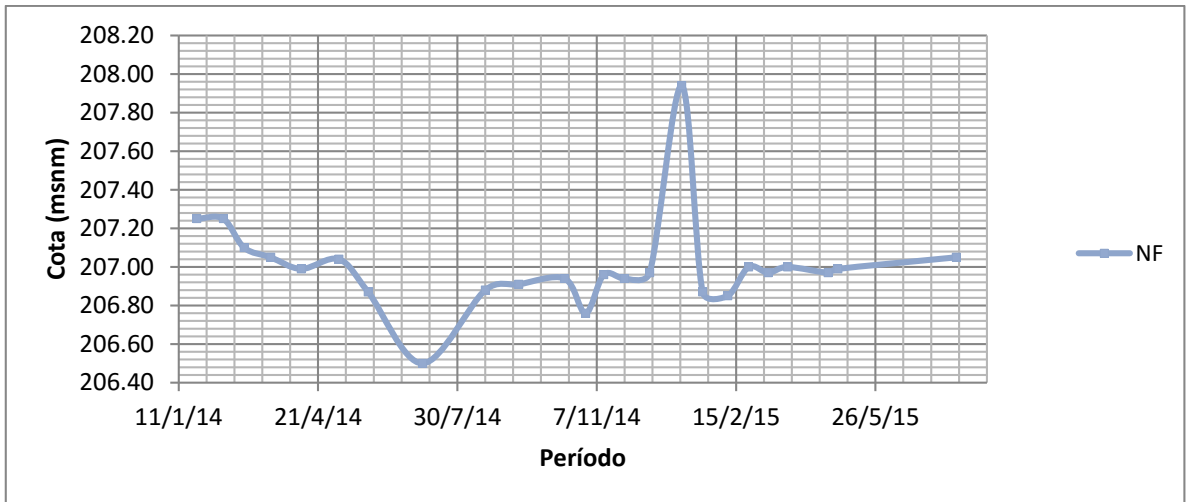


Gráfico N°6.01: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad "Atocongo".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-02:

Esta estación según el gráfico N°6.02, nos muestra un aumento del nivel freático en el mes de febrero de 2014, luego mantiene un descenso entre mayo y junio de 2104. Posteriormente se observa que partir de junio de 2014, el nivel decrece 6.0m hasta julio de 2015, que es el último valor registrado.

- Profundidad de piezómetro 02 (m): 168.1;
- Cota de terreno natural (msnm): 264.0.

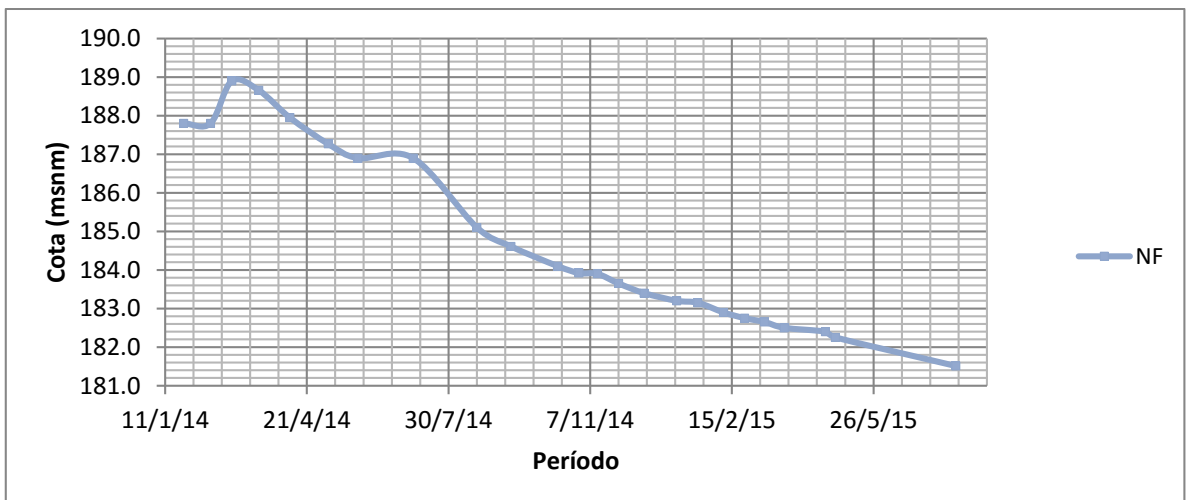


Gráfico N°6.02: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad "Atocongo".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-04:

El piezómetro PIEZ-04, presenta un comportamiento variable entre los meses enero y mayo de 2014, en este intervalo de tiempo el nivel del agua subterránea decrece hasta 30.0m, posteriormente el nivel de la columna de agua aumenta en 20.0m, para luego mantener un ascenso de 35.0 m a partir del mes junio de 2014. Los meses siguientes se mantiene sin mostrar cambios significativos, según se presenta en el gráfico N° 6.03.

- Profundidad de piezómetro 04 (m): 113.8;
- Cota de terreno natural (msnm): 191.0.

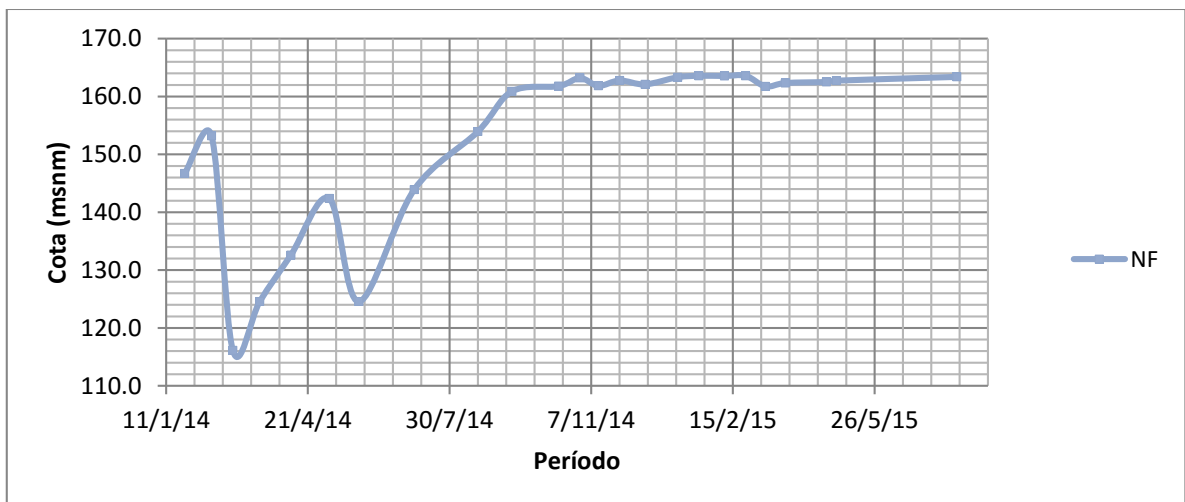


Gráfico N°6.03: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el piezómetro 04, Unidad "Atocongo".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-05:

La estación de monitoreo PIEZ-05, muestra poca variación en el nivel del agua, el intervalo de valores del nivel freático alternan entre 0.30 m, alcanzando valores máximos entre los meses de diciembre y febrero de 2015. En el grafico N° 6.04, se presenta la variación del nivel freático respecto al tiempo.

- Profundidad de piezómetro 05 (m): 190.0;
- Cota de terreno natural (msnm): 246.0.

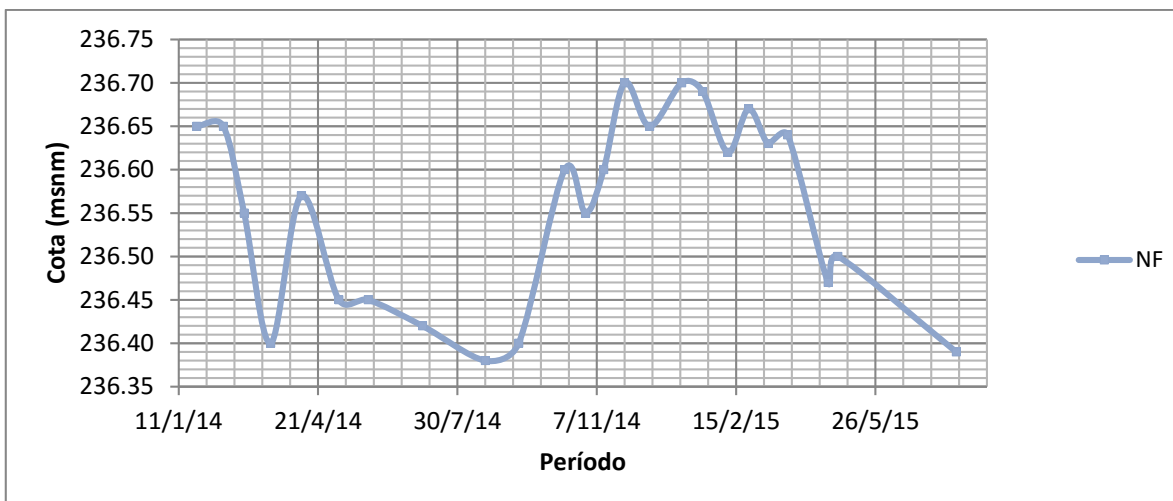


Gráfico N°6.04: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad "Atocongo".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-06:

La estación de monitoreo PIEZ-06, se presenta constante, excepto el periodo entre octubre y diciembre, que nos muestra un descenso en el nivel de hasta 5.0m. Los demás meses de monitoreo, la variación del nivel de agua alcanza como valor máximo 0.9m. Según se muestra en el gráfico N° 6.05.

- Profundidad de piezómetro 06 (m): 80.0;
- Cota de terreno natural (msnm): 230.0.

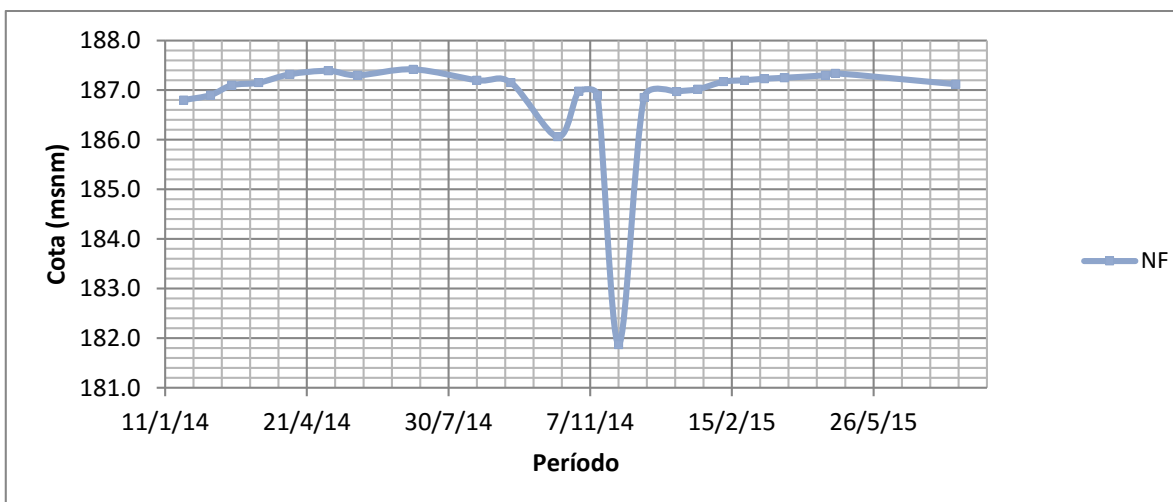


Gráfico N°6.05: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad "Atocongo".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-07:

Este piezómetro registró un ligero incremento del nivel freático hasta el mes de mayo de 2014, a partir de este periodo se observa descensos de nivel hasta en 0.60m, manteniendo una tendencia decreciente la última fecha de monitoreo registrada. La variación de nivel freático se presenta en el gráfico N° 6.06.

- Profundidad de piezómetro 07(m): 115.0;
- Cota de terreno natural (msnm): 197.0.

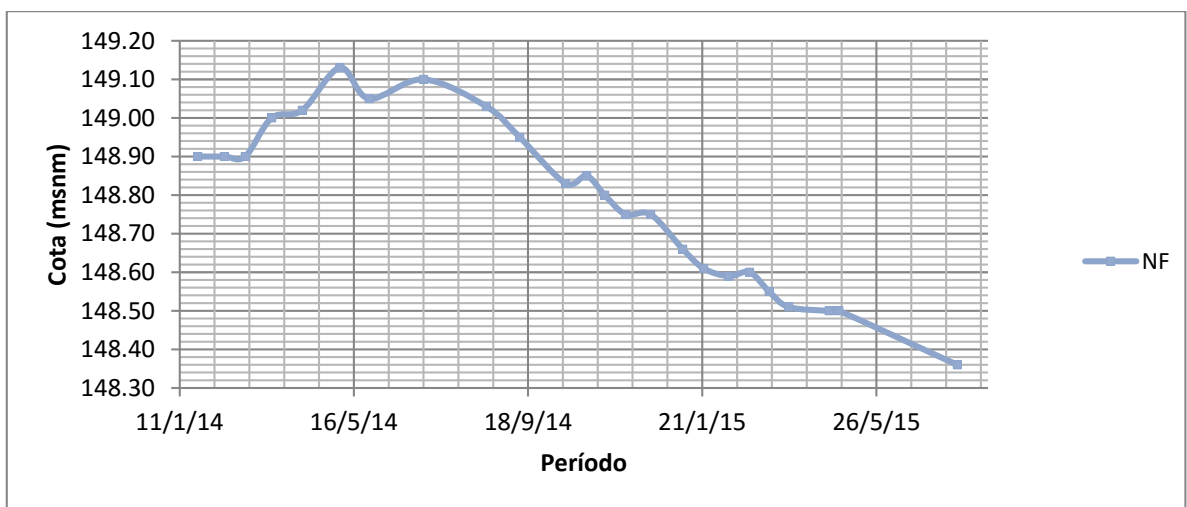


Gráfico N°6.06: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 07, Unidad "Atocongo".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-08:

En el gráfico N° 6.07, se observa que el máximo nivel de agua alcanzado, ocurrió durante el periodo de junio y julio de 2014. Luego el nivel decrece y se mantiene en un régimen de poca variabilidad, con intervalos menores de 0.40m.

- Profundidad de piezómetro 08(m): 99.2;
- Cota de terreno natural (msnm): 192.0.

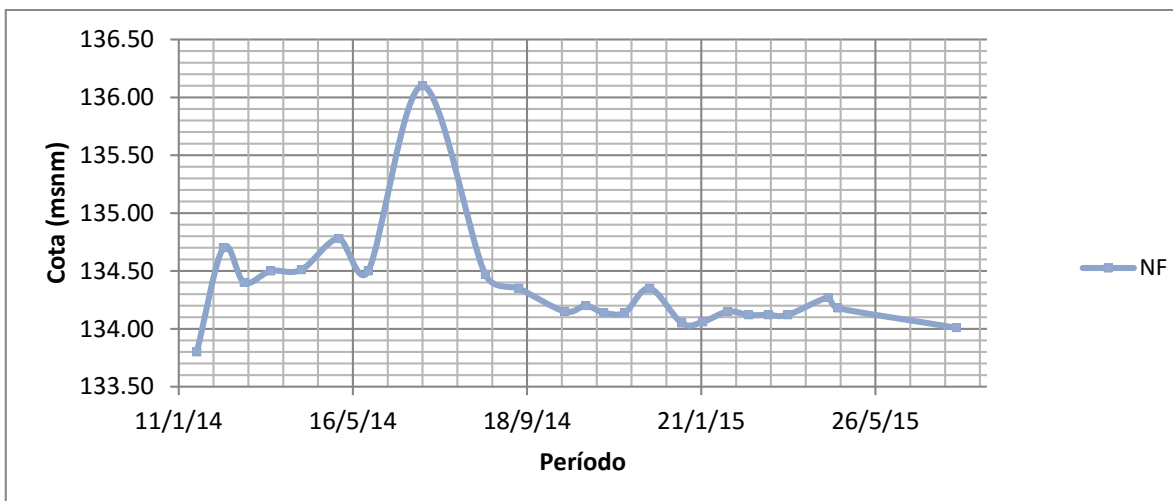


Gráfico N°6.07: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 08, Unidad "Atocongo".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Atocongo PIEZ-10:

El nivel de agua encontrado en este piezómetro según el gráfico N° 6.08, al inicio del monitoreo presenta el mínimo valor registrado, a partir del mes de febrero de 2014 hasta setiembre del mismo año, el nivel freático desciende aproximadamente 1.0 m., según el último dato tomado en campo.

- Profundidad de piezómetro 10(m): 74.8;
- Cota de terreno natural (msnm): 215.0.

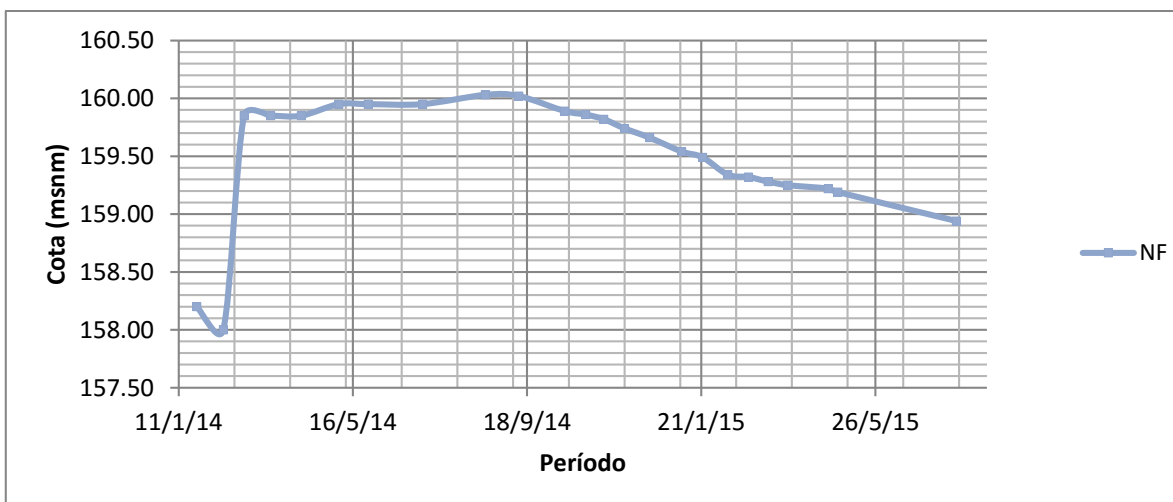


Gráfico N°6.08: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 10, Unidad "Atocongo".
Fuente: Elaboración propia.

Según el gráfico N°6.09, se observa la variación de nivel freático en los 09 piezómetros instalados en la unidad “Atocongo”, en el periodo de tiempo que fue registrado.

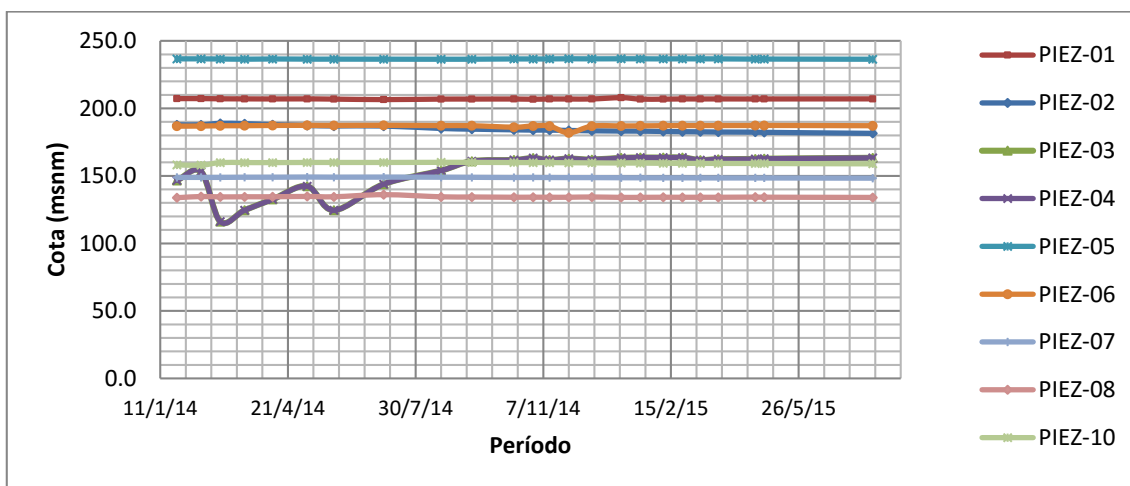


Gráfico N°6.09: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 09 piezómetros de la Unidad “Atocongo”.
Fuente: Elaboración propia.

La estación de monitoreo PIEZ-09 instalada en el sector Puquio, aun no presenta registro de nivel freático.

6.1.2 Unidad de operación “Conchan”

➤ Conchan PIEZ-01A y PIEZ-01B:

Teniendo en cuenta que esta estación cuenta con doble piezómetro en configuración de tipo anidado, según el gráfico N°6.10, se tiene que:

Los piezómetros 01A y 01B, presentan niveles mínimos en el mes de octubre de 2013, el desfase entre estos alcanza el máximo valor de 0.40m, incluso por debajo del nivel del mar.

Luego ambos piezómetros alcanzan valores similares que oscilan entre 0.40 m y 0.60 m sobre el nivel del mar., siendo la máxima diferencia que existe entre estos de 0.07m (7cm.), para los periodos posteriores a abril de 2014.

- Profundidad de piezómetro 01A (m): 24.1;
- Profundidad de piezómetro 01B (m): 4.5;
- Cota de terreno natural (msnm) : 3.0.

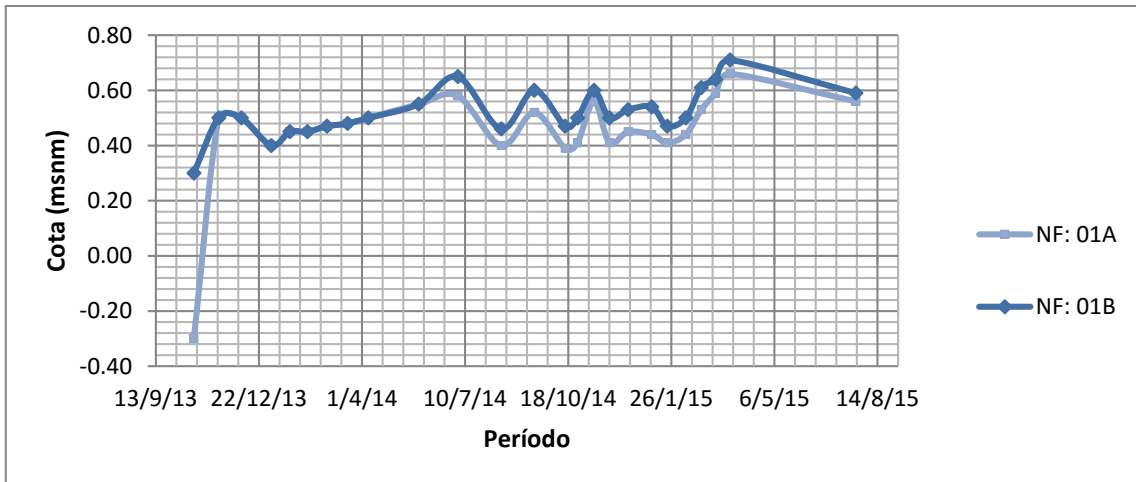


Gráfico N°6.10: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01-A y 01-B, Unidad "Conchan".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Conchan PIEZ-02A y PIEZ-02B :

Esta estación de monitoreo cuenta con 02 piezómetros en configuración tipo anidado, presenta comportamiento similar hasta el mes de marzo de 2015, siendo el periodo entre los meses de mayo y julio, que se observa un desfase de 0.02m (2 cm.). La variación de niveles se presenta en el gráfico N° 6.11.

- Profundidad de piezómetro 02A (m): 14.0;
- Profundidad de piezómetro 02B (m): 7.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 3.0.

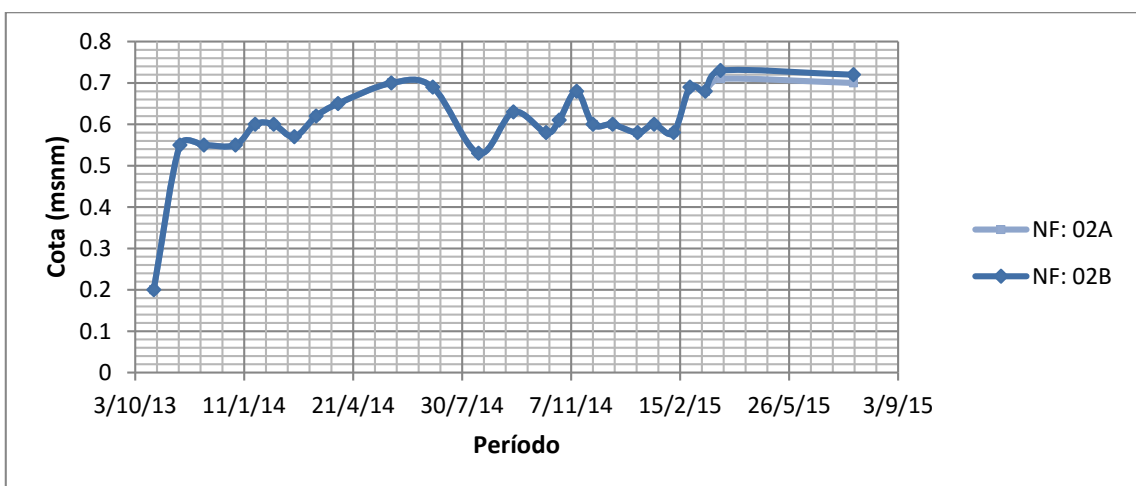


Gráfico N°6.11: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02-A y 02-B, Unidad "Conchan".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Conchan PIEZ-03A y PIEZ-03B :

Según el gráfico N° 6.12, el comportamiento de la estación de monitoreo con 02 piezómetros del tipo anidado, presentan igual nivel de agua subterránea, durante todo el periodo de evaluación.

- Profundidad de piezómetro 03A (m): 28.4;
- Profundidad de piezómetro 03B (m): 6.6;
- Cota de terreno natural (msnm) : 3.0.

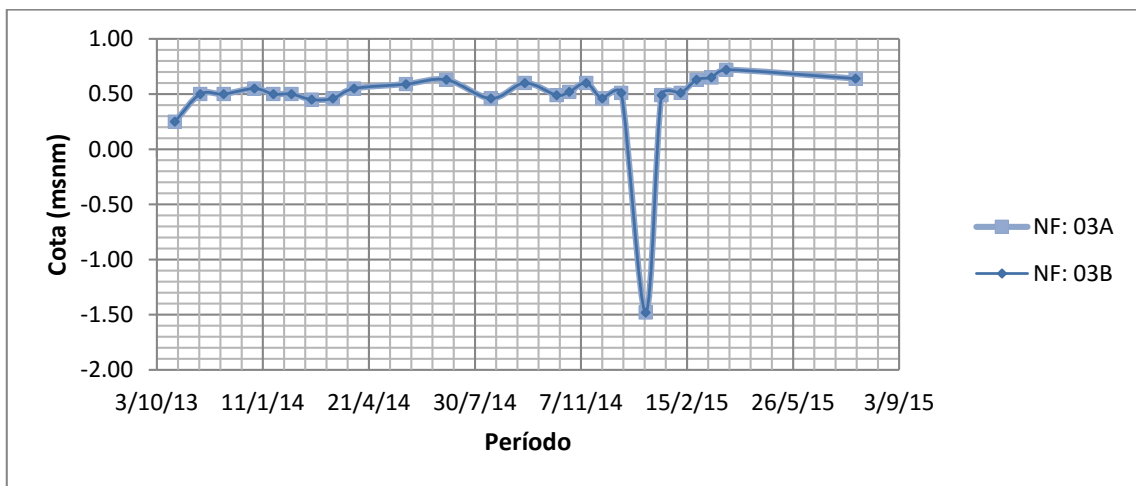


Gráfico N°6.12: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03-A y 03B, Unidad "Conchan".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Conchan PIEZ-04A y PIEZ-04B :

El piezómetro 04A y 04B, presentan diferentes nivel de agua entre los periodos octubre a diciembre de 2013 y desde mayo de 2014 hasta julio de 2015, mes en que se tiene el último registro de esta estación de piezómetros anidados. Estas variaciones y desfase de niveles se presentan en el gráfico N°6.13.

- Profundidad de piezómetro 04A (m): 23.9;
- Profundidad de piezómetro 04B (m): 7.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 18.0.

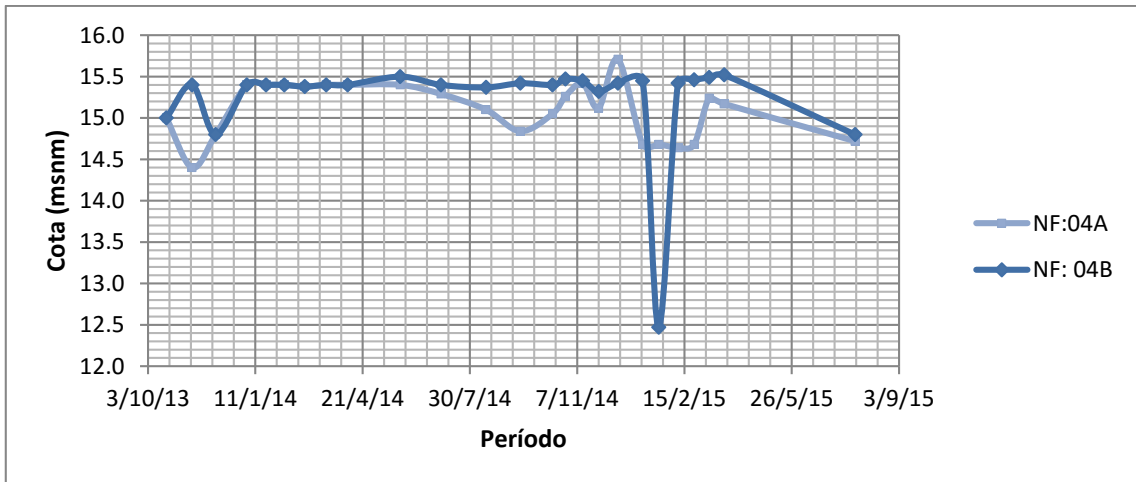


Gráfico N°6.13: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 04-A y 04-B, Unidad "Conchan".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Conchan PIEZ-05A y PIEZ-05B :

Los piezómetros 05A y 05B, presentan comportamiento y niveles de agua similares, manteniendo una diferencia de 0.10m (10cm.), durante el tiempo que fue monitoreado. En el gráfico N°6.14, se observa las variaciones de niveles presentes en ambos piezómetros.

- Profundidad de piezómetro 05A (m): 26.3;
- Profundidad de piezómetro 05B (m): 7.3;
- Cota de terreno natural (msnm) : 24.0.

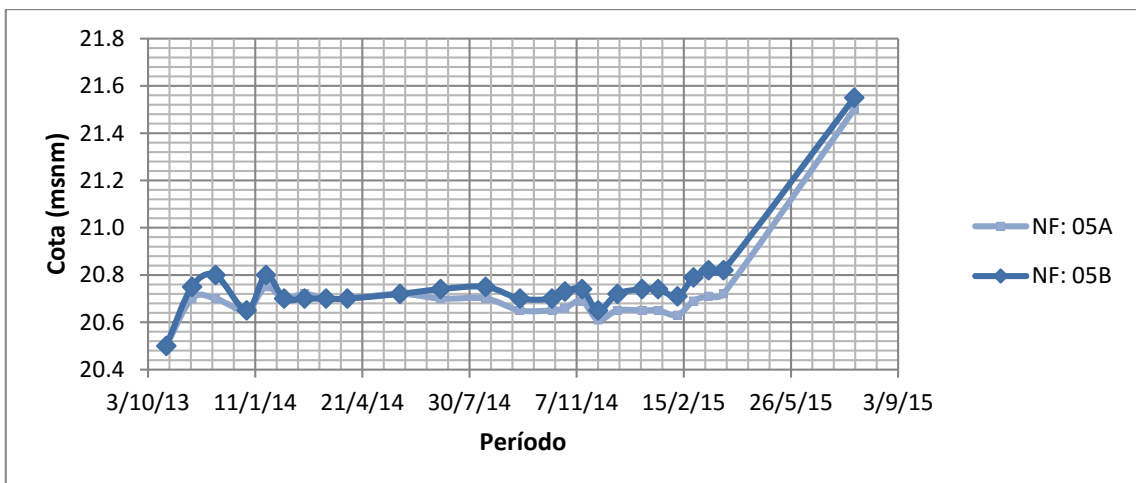


Gráfico N°6.14: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05A y 05B, Unidad "Conchan".
Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico N°6.15, se observa las variaciones de niveles presentes en los piezómetros, en las estaciones de monitoreo.

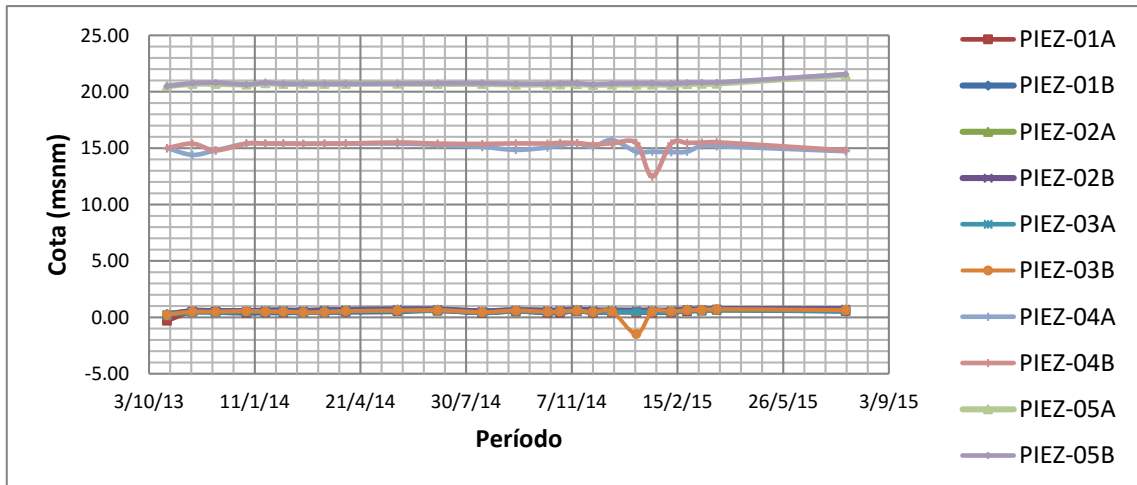


Gráfico N°6.15: Variación del nivel freático respecto al tiempo en los 10 Piezómetros de la Unidad "Conchan".
Fuente: Elaboración propia.

La unidad "Conchan" con 05 estaciones monitoreo dentro de la zona de emplazamiento, presentó piezómetros dobles instalados en sistema del tipo anidados.

6.1.3 Unidad de operación "Las Dunas"

➤ Las Dunas PIEZ-01A y PIEZ-01B :

La estación de monitoreo de configuración anidado, presenta comportamiento similar, excepto por un valor obtenido en el mes de diciembre de 2013, la diferencia de niveles de agua llegó hasta 3.80m. Para los demás intervalos de tiempo no se presenta diferencias significativas. Los niveles de agua varían entre 0.40 m para los demás periodos de evaluación. En el gráfico N°6.16, se presenta la variación de nivel freático respecto al periodo de operación.

- Profundidad de piezómetro 01A (m): 25.3;
- Profundidad de piezómetro 01B (m): 16.2;
- Cota de terreno natural (msnm) : 89.0.

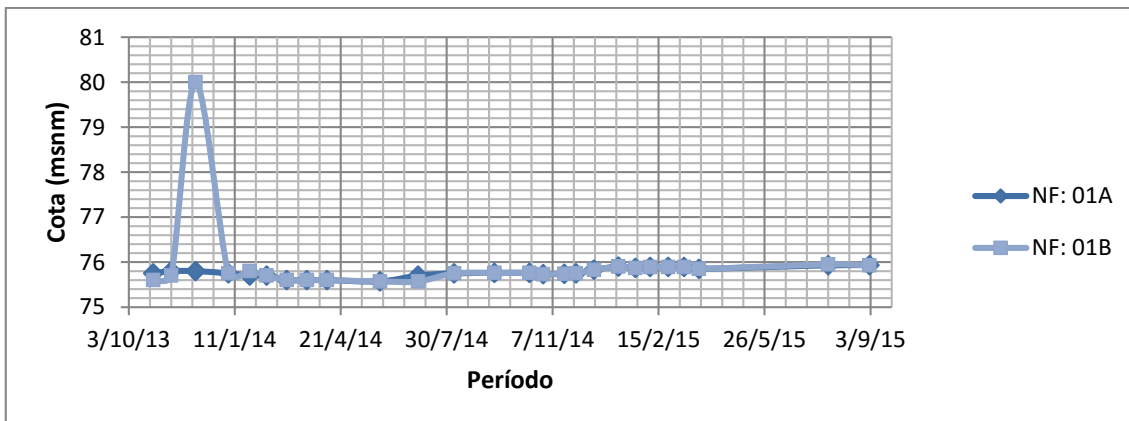


Gráfico N°6.16: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01A y 01B, Unidad "Las Dunas".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Dunas PIEZ-02A y PIEZ-02B :

Según el gráfico N° 6.17, para el caso del piezómetro 02A de poca profundidad de instalación, presenta una variación máxima de niveles de 0.40m. Caso contrario ocurre con el piezómetro 02A, se observa comportamiento irregular durante el tiempo que fue registrado en campo, la diferencia de niveles oscila entre 3.0 m y 6.0 m.

- Profundidad de piezómetro 02A (m): 24.2;
- Profundidad de piezómetro 02B (m): 4.6;
- Cota de terreno natural (msnm) : 39.0.

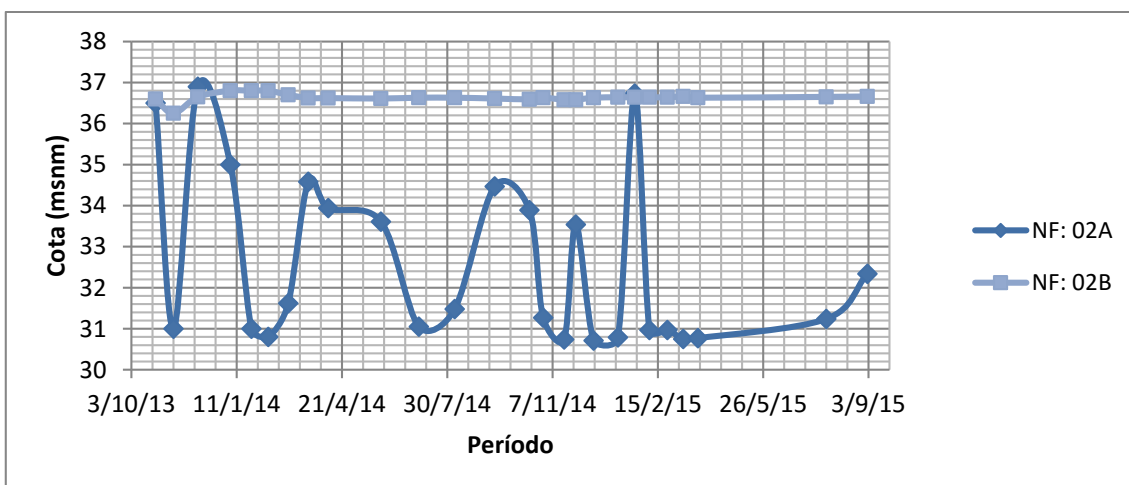


Gráfico N°6.17: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02-A y 02-B, Unidad "Las Dunas".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Dunas PIEZ-05 :

Este piezómetro presenta incrementos en los niveles de aguas subterráneas para los periodos comprendidos entre enero y marzo, decreciendo en los demás meses, manteniendo su nivel de variación en rangos de 0.10m (10cm). En el gráfico N° 6.18, se muestra la variación de este piezómetro durante el tiempo de operación.

- Profundidad de piezómetro 05 (m): 4.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 95.0.

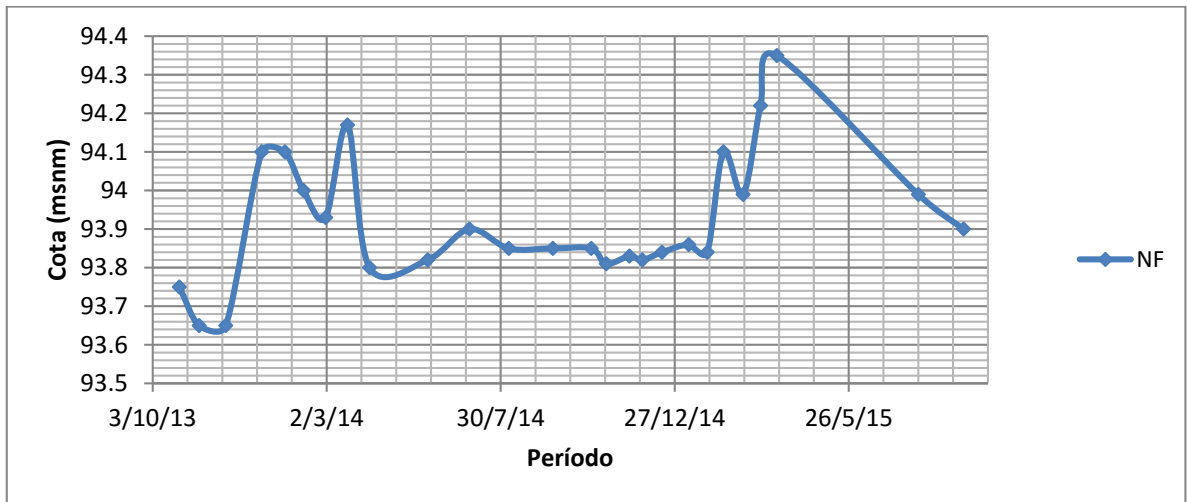


Gráfico N°6.18: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad "Las Dunas".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Dunas PIEZ - 06 :

Este punto de monitoreo nos muestra un ligero incremento del nivel freático en el mes de enero de 2014, luego se aprecia un descenso en 0.15 m (15cm) hasta el mes de noviembre, es a partir de este mes, que el nivel se mantiene con variaciones de 0.05m (5 cm) .

La variación de nivel freático respecto al periodo de evaluación de la estación de monitoreo, se presenta en el gráfico N° 6.19.

- Profundidad de piezómetro 06 (m): 4.65;
- Cota de terreno natural (msnm) : 53.00.

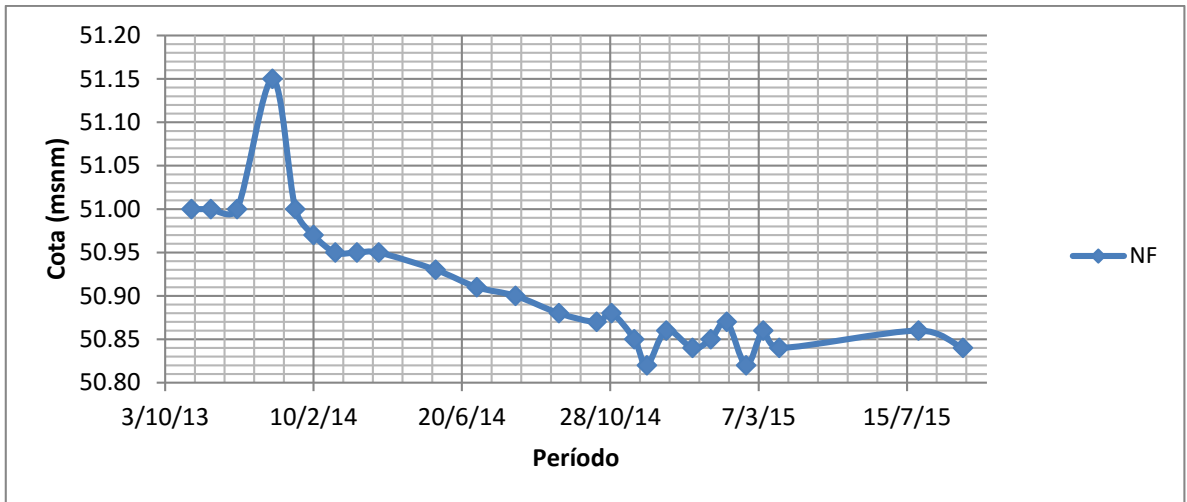


Gráfico N°6.19 Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad "Las Dunas".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Dunas PIEZ – 09A y PIEZ – 09B:

La estación de monitoreo presenta dos niveles de agua claramente diferenciados aproximadamente en 1.5m. Para el piezómetro 09A alcanza valores máximos entre los periodos de enero y marzo, el mismo comportamiento se observa para el piezómetro 09B. El gráfico N° 6.20, muestra la variación de nivel freático en ambos piezómetros.

- Profundidad de piezómetro 09A (m): 22.6;
- Profundidad de piezómetro 09B (m): 3.9;
- Cota de terreno natural (msnm) : 92.0.

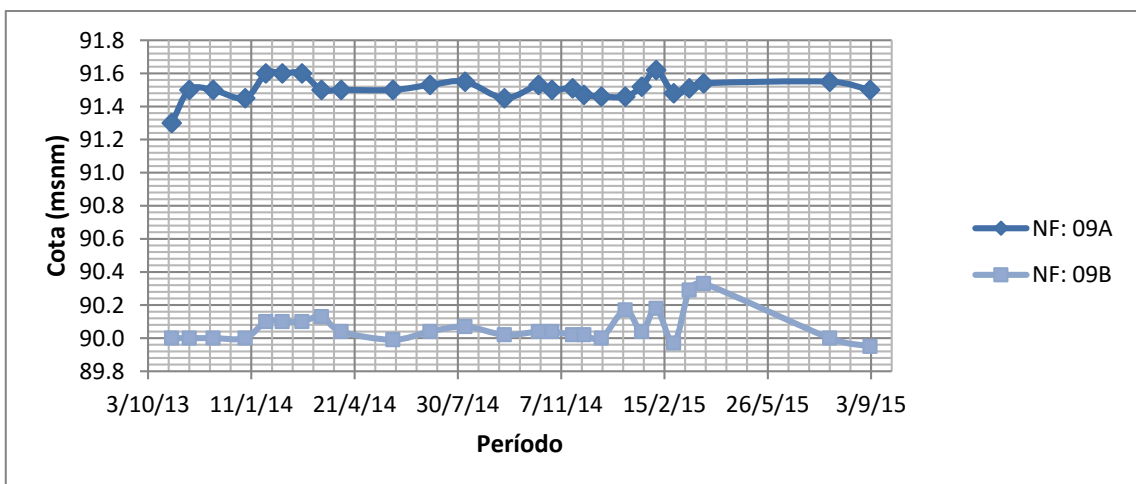


Gráfico N°6.20: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 09A y 09B, Unidad "Las Dunas".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Dunas PIEZ – 10A y PIEZ – 10B:

En el gráfico N° 6.21, los niveles de agua en los piezómetros 10A y 10B, se mantienen iguales, excepto en el mes de julio de 2015, donde se encontró un ligera diferencia de 0.04m (4cm) entre ambos.

- Profundidad de piezómetro 10A (m): 12.65;
- Profundidad de piezómetro 10B (m): 3.95;
- Cota de terreno natural (msnm) : 75.00.

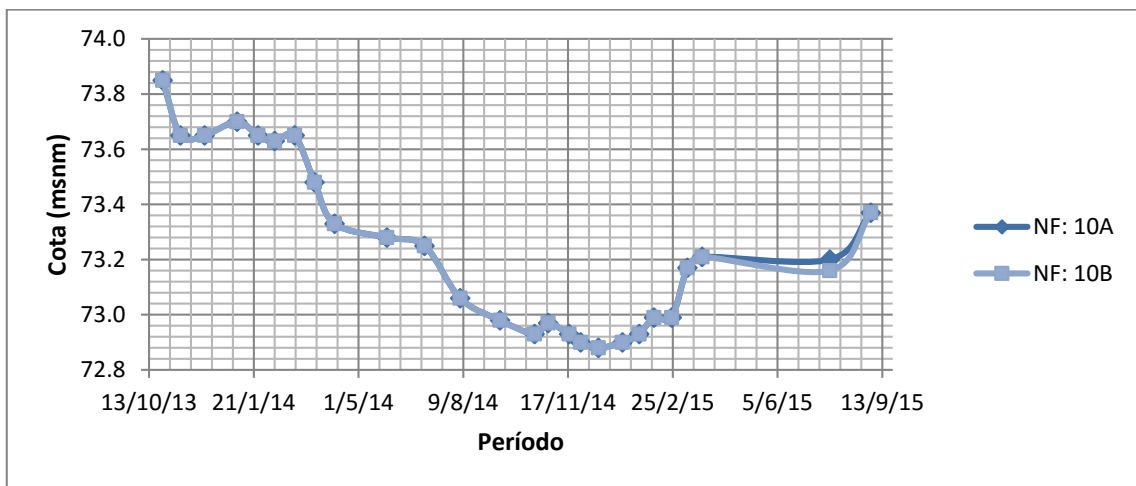


Gráfico N°6.21: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 10A y 10B, Unidad "Las Dunas".
Fuente: Elaboración propia.

En la estación "Las Dunas" PIEZ-02A y PIEZ-02B, en la zona denominada "Botadero", se encuentra instalado un piezómetro doble en configuración anidado, se observó una condición hidrodinámica. Para el periodo febrero de 2015, el piezómetro 02A, con una profundidad de 24.2m, registra un nivel freático de 31 msnm, y el nivel del agua presente en el piezómetro 02B de profundidad de 4.6 m, registra nivel freático de 36.5 msnm. Esto se debe a la turbulencia generada por dos corrientes de agua subterránea, el piezómetro 02A al estar a mayor profundidad que el piezómetro 02B, registra una altura diferente, debido que se encuentra en condiciones hidrostáticas, mientras tanto, metros más arriba cerca de la superficie, se intersectan dos corrientes de agua que originan turbulencia y generan inestabilidad del nivel de agua en el piezómetro 02B.

La variación de los niveles freáticos registrados por los 10 instalados en la unidad “Las Dunas”, se presentan en el siguiente gráfico N°6.22.

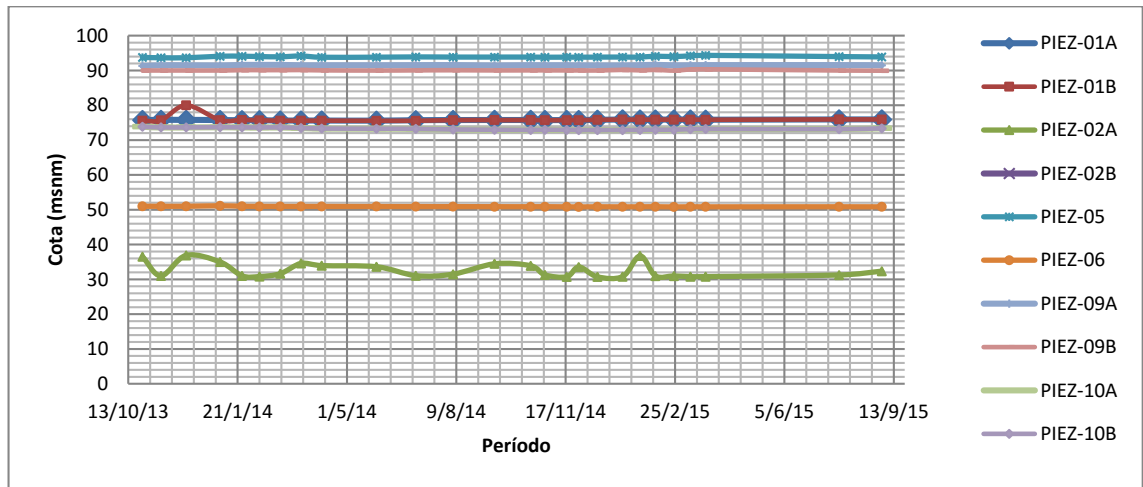


Gráfico N°6.22: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 10 Piezómetros de la Unidad “Las Dunas”.
Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Unidad de operación “Las Hienas”

➤ Las Hienas PIEZ – 01:

Según el gráfico N° 6.23, se observa un descenso del nivel freático en el mes de noviembre de 2014, los demás meses registrados el nivel freático presenta variaciones en el rango de 0.20m (20cm).

- Profundidad de piezómetro 01 (m): 15.4;
- Cota de terreno natural (msnm) : 17.0.

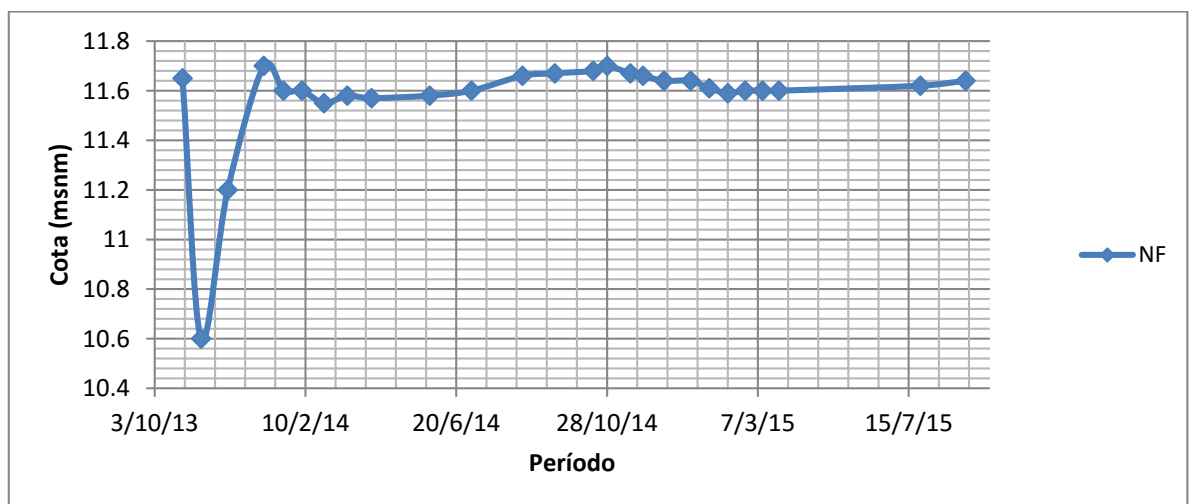


Gráfico N°6.23: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad “Las Hienas”.
Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Hienas PIEZ – 02:

Del gráfico N° 6.24, el nivel de agua subterránea se observa constante hasta el mes de enero, donde se presenta descenso del nivel, pasado el mes de abril se registra un ascenso en 06 meses continuos. Pasado este periodo de variabilidad el nivel freático se mantiene con variaciones de 0.15m (15cm).

- Profundidad de piezómetro 02 (m): 15.4;
- Cota de terreno natural (msnm) : 16.0.

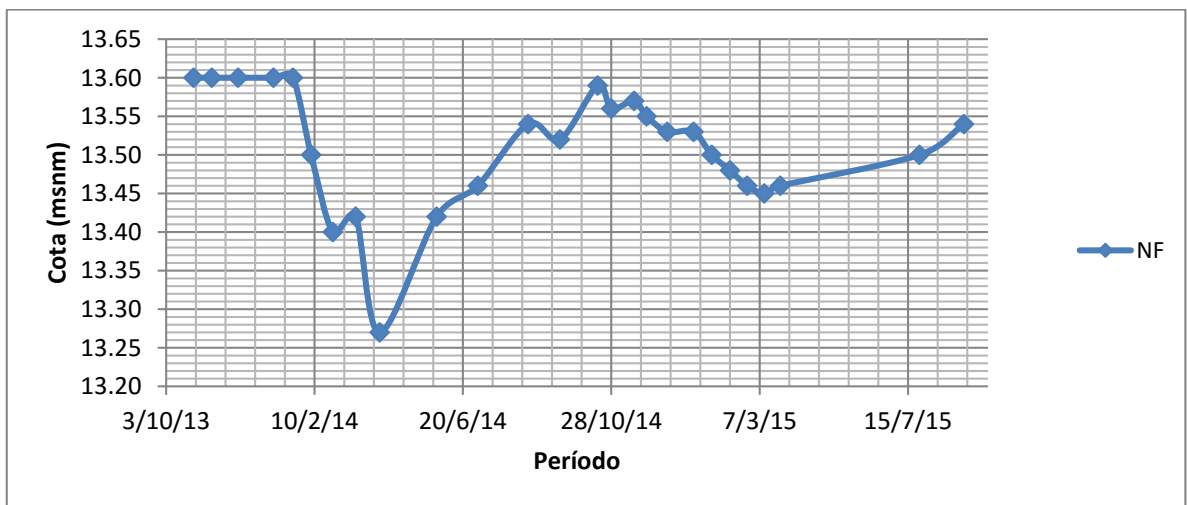


Gráfico N°6.24: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad “Las Hienas”.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Las Hienas PIEZ – 03:

En estación de monitoreo, según el gráfico N° 6.25, el nivel freático mantiene un intervalo de variación de 0.15m (15cm) hasta el mes de octubre de 2014. Se presenta un descenso de hasta 0.30m (30cm) que empieza en el mes de marzo y culmina en junio de 2015, para luego en el siguiente mes seguir una tendencia ascendente hasta setiembre, que es el mes último mes registrado.

- Profundidad de piezómetro 03 (m): 15.4;
- Cota de terreno natural (msnm) : 17.0.

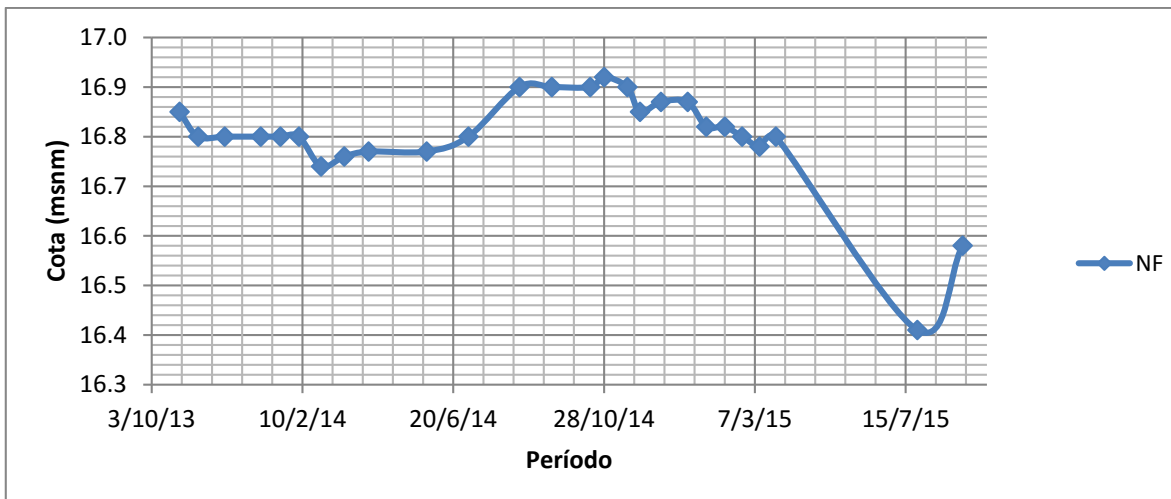


Gráfico N°6.25: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03, Unidad "Las Hienas".
Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente grafico N°6.26, se presenta la variación de nivel freático en los 03 piezómetros instalados en la unidad "Las Hienas", en el periodo de tiempo que fue registrado.

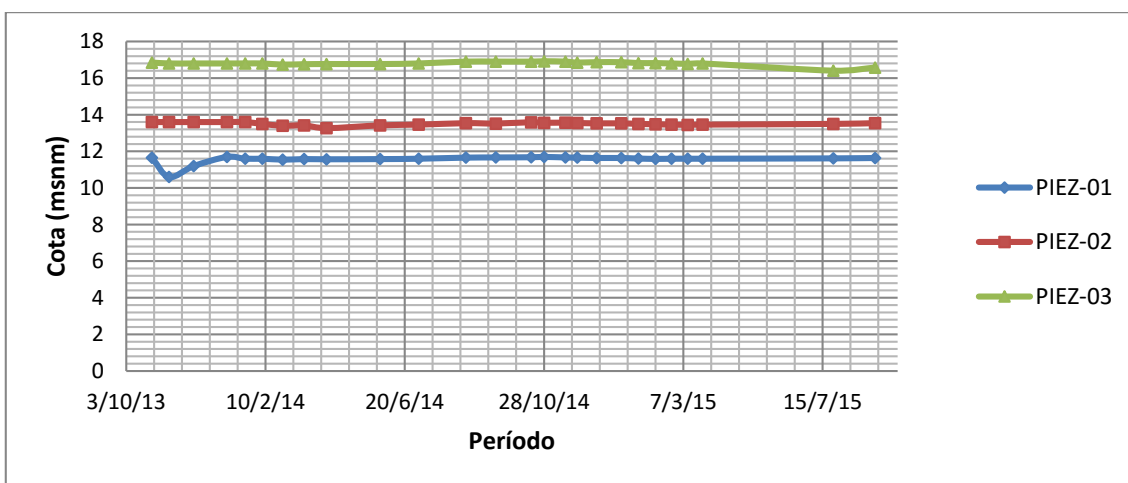


Gráfico N°6.26: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 03 Piezómetros en la Unidad "Las Hienas".
Fuente: Elaboración propia.

En el grafico N°6.26, se aprecia que los máximos niveles freáticos registrados en la unidad "Las Hienas", ocurren en los periodos de los meses noviembre y febrero, según los registros obtenidos durante el periodo de evaluación.

6.1.5 Unidad de operación “Cristina”

➤ Cristina PIEZ – 01:

El piezómetro instalado en esta estación de monitoreo cuenta con un ligero descenso del nivel freático de aproximadamente 0.04m (4cm), registrado durante el corto periodo de funcionamiento, desde que fue instalado. Esta variación se muestra en el gráfico N° 6.26.

- Profundidad de piezómetro 01 (m): 125.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 285.0.

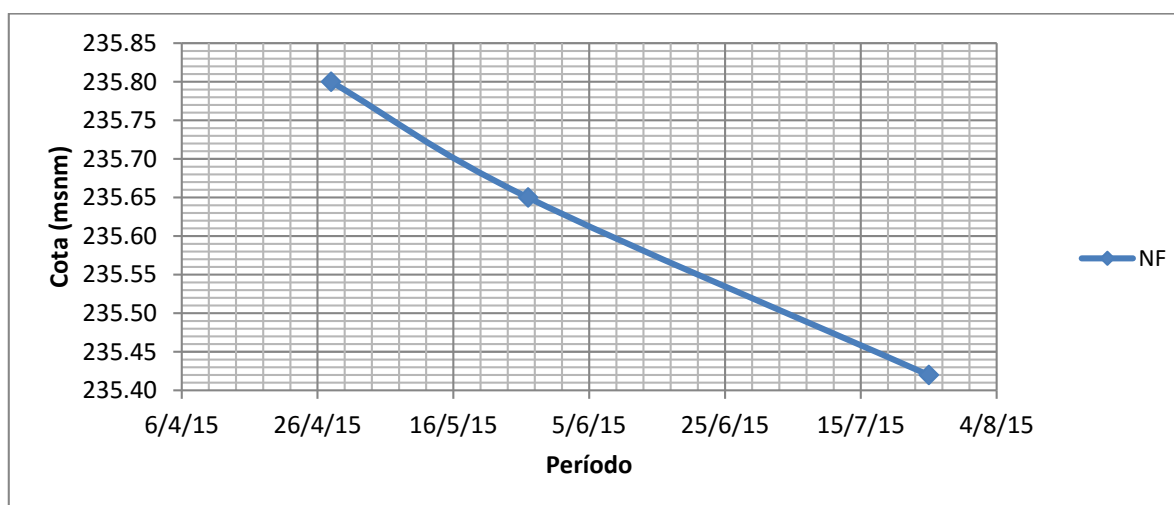


Gráfico N°6.27: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 01, Unidad “Cristina”.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – 02:

El nivel registrado según las mediciones realizadas durante el periodo corto de operación de este piezómetro, no presenta variabilidad significativa, esto se observa en el gráfico N° 6.28.

- Profundidad de piezómetro 02 (m): 149.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 267.0.

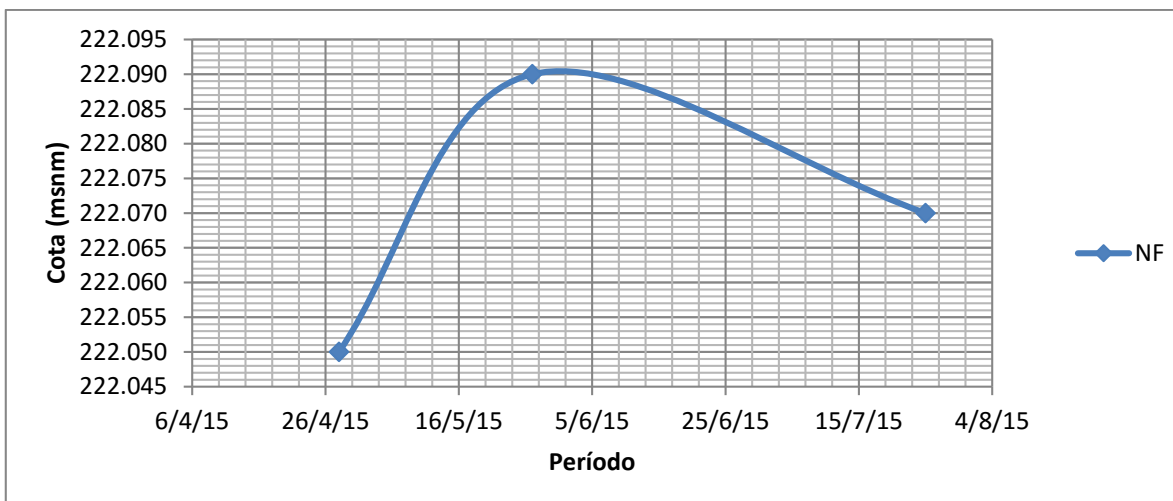


Gráfico N°6.28: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 02, Unidad "Cristina".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – 03:

La variación en esta estación de monitoreo es de tendencia descendente, con variaciones por debajo de 0.01m (1cm), según se muestra en el gráfico N° 6.29.

- Profundidad de piezómetro 03 (m): 129.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 326.0.

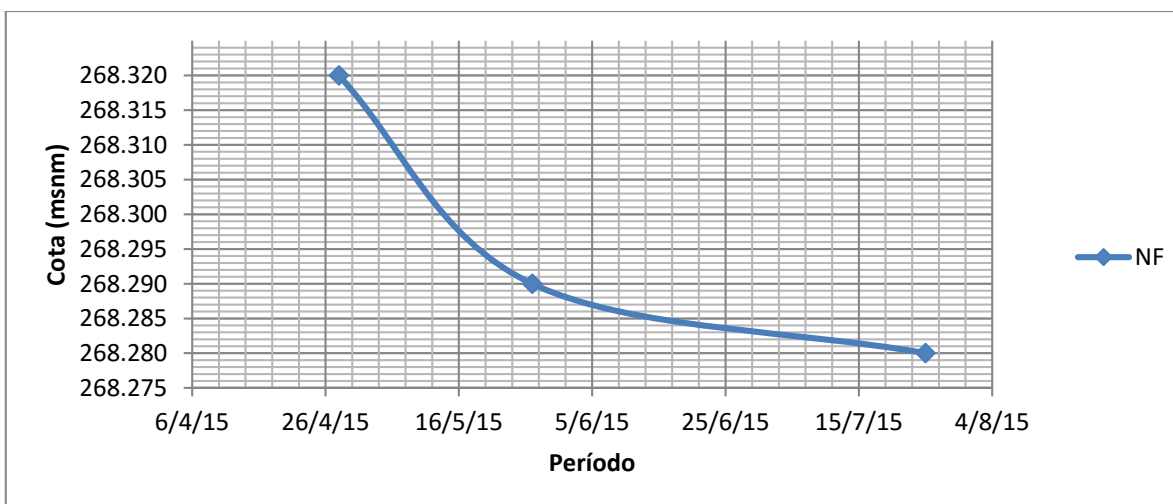


Gráfico N°6.29: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 03, Unidad "Cristina".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – 05:

Según el gráfico N° 6.30, esta estación de monitoreo no presenta significativas variaciones en el nivel de agua subterránea.

- Profundidad de piezómetro 05 (m): 140.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 402.0.

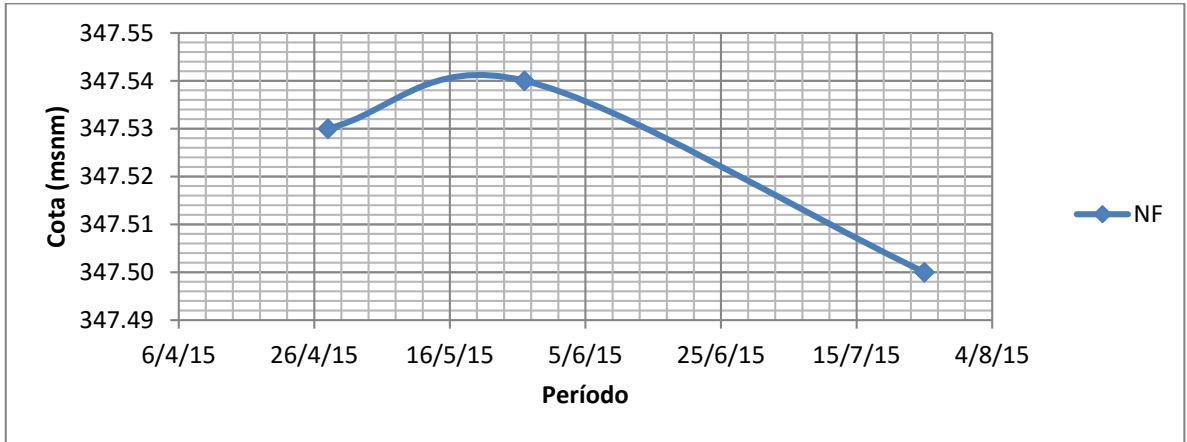


Gráfico N°6.30: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 05, Unidad "Cristina".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – 06:

En el gráfico N° 6.31, el piezómetro presenta comportamiento ascendente desde el tiempo que fue instalado. La variación de niveles freáticos observados durante el periodo de monitoreo es mínimo.

- Profundidad de piezómetro 06 (m): 142.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 342.0.

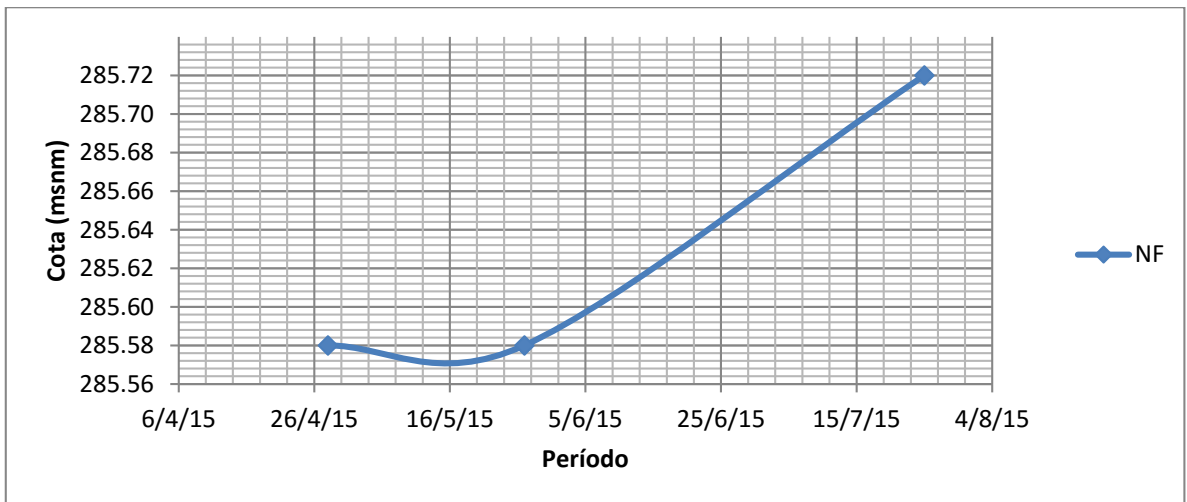


Gráfico N°6.31: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 06, Unidad "Cristina".
Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – 07:

El nivel de agua freática en el piezómetro se presenta con tendencia descendente, desde el periodo de abril hasta julio de 2015, la diferencia de niveles alcanza el valor de 0.40m (40cm), esta variación de nivel se observa en el gráfico N° 6.32.

- Profundidad de piezómetro 07 (m): 129.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 576.0.

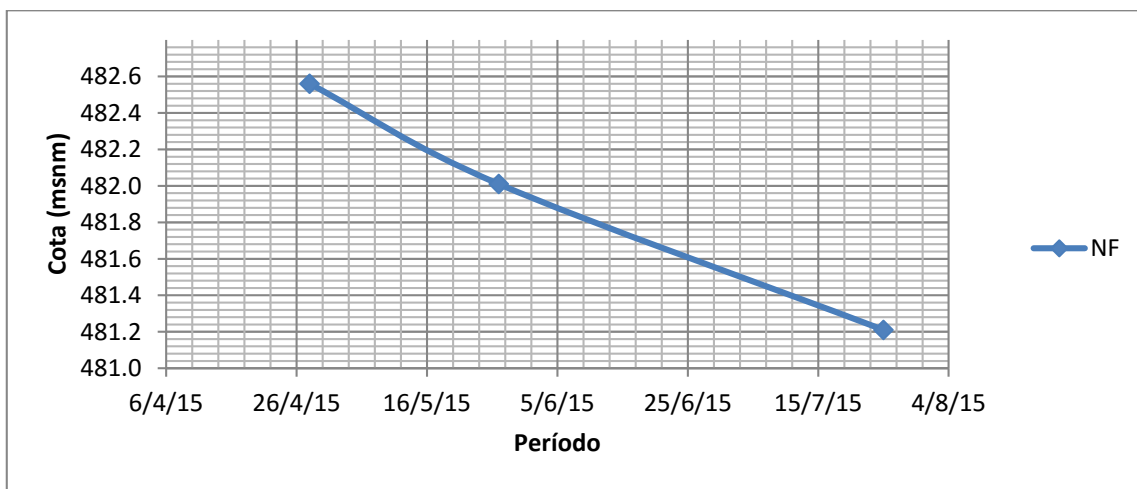


Gráfico N°6.32: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro 07, Unidad "Cristina".

Fuente: Elaboración propia.

➤ Cristina PIEZ – PP5 -01:

El nivel de agua registrado en esta estación, según el gráfico N°6.33, se presenta con tendencia descendente, siendo la variación del nivel desde su instalación en abril de 2015, de aproximadamente de 0.7m (70cm), valor alcanzado en julio del mismo año.

- Profundidad de piezómetro PP5-01 (m): 129.0;
- Cota de terreno natural (msnm) : 279.0.

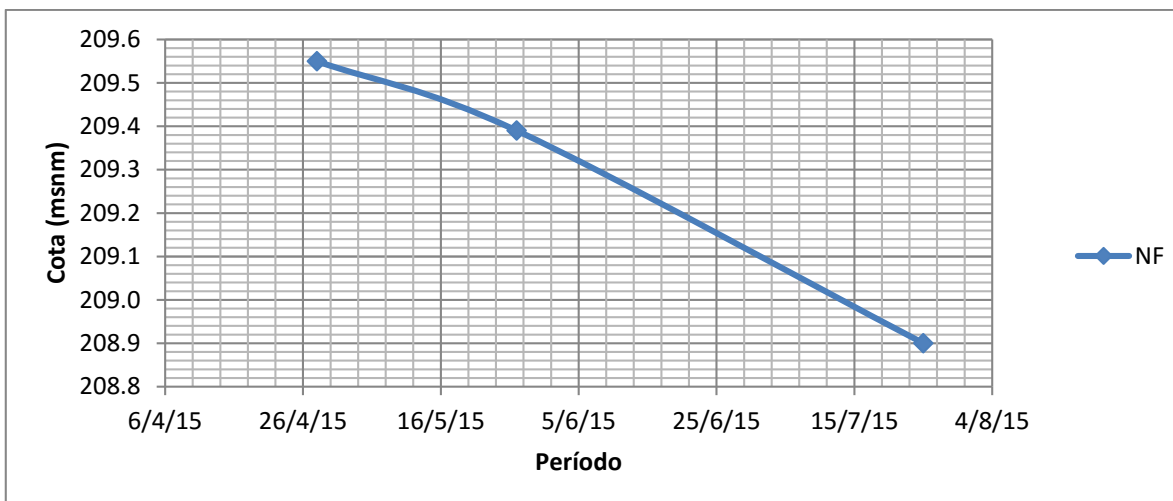


Gráfico N°6.33: Variación del nivel freático respecto al tiempo en el Piezómetro PP5-01, Unidad "Cristina".
Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico N° 6.34, se presenta la variación de nivel freático registrado en los 07 piezómetros instalados en la unidad "Cristina".

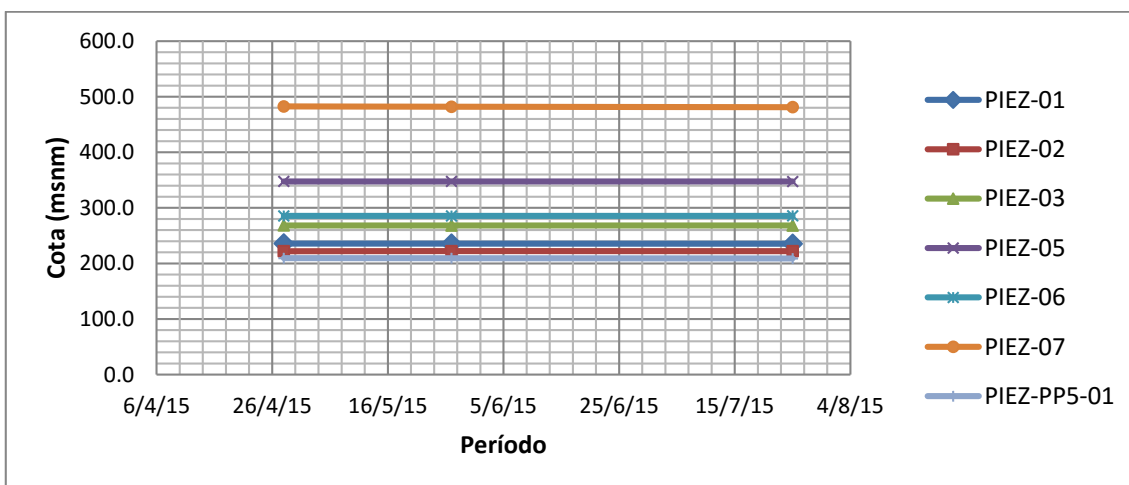


Gráfico N°6.34: Variación del nivel freático respecto al tiempo, en los 07 Piezómetros de la Unidad "Cristina".
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N°6.34, se observa que los niveles freáticos registrados en la unidad "Las Hienas", no presentan una tendencia definida debido al poco tiempo de operación de los piezómetros.

6.2 Calidad del Agua Subterránea

La calidad del agua se verifica mediante los parámetros físico-químicos establecidos en el estudio hidrogeológico realizado a cada unidad de operación. Estos parámetros se encuentran regulados por los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua), establecidos por las entidades a cargo de vigilar y salvaguardar los recursos hídricos.

6.2.1 Unidad de operación “Atocongo”

De los resultados que se obtuvieron de los ensayos realizados en campo en la unidad “Atocongo”, se observa de la Tabla N° 6.2.1; que los resultados de los parámetros de campo obtenidos en las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 05, PZA – 06, PZA – 07, PZA – 08 y PZA – 10; para el caso del piezómetro 04 presenta altos valores de pH y además exceden el valor permisible de conductividad eléctrica

En la Tabla N° 6.1 de los anexos adjuntos; se muestran los resultados del análisis del laboratorio obtenidos de las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 06, PZA – 07, PZA – 08 y PZA – 10; las cuales presentan valores de Fluoruros, Fosfatos, Nitratos y sulfuros que cumplen los estándares de calidad ambiental. Sin embargo para el caso de los Cloruros, las estaciones PZA – 01, PZA – 05 y PZA – 07 superan el estándar establecido; para el caso de los Bicarbonatos las estaciones PZA – 05 y PZA – 07 superan el estándar establecido; para el caso de los 18 Carbonatos, las estaciones PZA – 04 y PZA – 07, superan el estándar establecido; para el caso de los Nitritos, las estaciones PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05 y PZA – 10 superan el estándar establecido; y finalmente para el caso de los Sulfatos las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 05 y PZA – 07 superan el estándar establecido.

En la tabla que se presentan en el anexo 4; se muestran los resultados de Metales Totales ICP obtenidos de las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 06, PZA – 07, PZA – 08 y PZA – 10; donde se identifica que todas las estaciones cumplen con los estándares de Bario, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Litio, Magnesio, Níquel, Plata y Zinc. Sin embargo la presencia de Aluminio en las estaciones PZA – 04 y PZA – 07 superan el estándar

establecido. Para el contenido del Arsénico y del Selenio, la estación PZA – 02 supera los estándares establecidos. El contenido de Calcio en las estaciones PZA – 01, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 07 y PZA – 08 superan el estándar establecido. Para el caso del Hierro las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 07 y PZA –10 superan el estándar establecido. Respecto a la concentración de Manganeso las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 06, PZA – 07 y PZA –10 superan los valores permisibles establecidos. El caso del Plomo la estación PZA –10 supera el estándar establecido; y finalmente para el Sodio, las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 04, PZA – 05, PZA – 07, PZA – 08 y PZA –10 superan el estándar.

Tabla N° 6.2.1: Resultados Físico-Químico, Unidad “Atocongo”

Estación	Fecha	Hora	pH	T °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
PZ-01	06/05/2014	09:57	7,45	23,5	8 015	3,96
	30/10/2014	08:40	7,33	21,6	8 090	2,67
	26/02/2015	09:10	6,29	26,1	7 610	2,63
PZ-02	06/05/2014	11:00	7,46	22,3	3 046	2,35
	30/10/2014	12:40	7,62	25,4	3 390	2,70
	26/02/2015	10:55	7,69	25,3	3 330	2,10
PZ-04	06/05/2014	12,29	12,34	22,7	7 018	3,85
	30/10/2014	14:15	11,94	26,4	5 350	2,42
	26/02/2015	11:45	8,76	25,6	4 540	4,02
PZ-05	06/05/2014	14:45	8,16	21,9	10 067	5,16
	30/10/2014	15:10	7,39	25,0	9 830	1,88
	26/02/2015	10:25	7,47	24,5	10 040	2,62
PZ-06	03/06/2014	08:50	7,58	23,7	1 998	6,32
	31/10/2014	11:25	7,27	23,4	1 586	2,92
	26/02/2015	16:25	7,06	25,8	1 611	2,98
PZ-07	06/05/2014	15:33	8,17	22,6	4 085	4,36
	30/10/2014	16:45	7,59	25,0	5 210	3,45
	26/02/2015	12:20	7,78	25,8	4 800	3,11
PZ-08	03/06/2014	10:10	7,53	24,2	2 023	6,45
	31/10/2014	13:10	7,31	22,1	6 280	3,58
	26/02/2015	10:10	7,94	25,9	5 790	3,45
PZ-10	05/05/2014	12:00	7,69	24,0	2 250	3,0
	31/10/2014	10:10	7,47	24,8	1 942	1,82
	26/02/2015	14:56	6,89	27,0	1 963	2,12
ECA -Agua			6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

NOTA: ECA-Agua (Estándar de calidad ambiental para agua).

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Unidad de operación “Conchan”

En la Tabla N° 6.2.2, se observa que se muestran los resultados de los parámetros de campo obtenidos en las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 03, PZA – 04 y PZA – 05; donde se identifica que todas las estaciones cumplen con el estándar de calidad ambiental para los parámetros de pH y Oxígeno disuelto. Sin embargo en las estaciones PZA - 01, PZA – 03 y PZA – 05 los valores de Conductividad se encuentran fuera del rango establecido en la norma en mención.

Del anexo 4; se presentan los resultados del análisis de laboratorio obtenidos en las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 03, PZA – 04 y PZA – 05; las cuales presentan valores de Fluoruros, Bicarbonatos, Carbonatos, Fosfatos y Sulfuros que cumplen los estándares de calidad ambiental para agua. Sin embargo para el caso de los Cloruros y Sulfatos en las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 03 y PZA – 05, se supera el estándar establecido. El contenido de los Nitratos en la estación PZA – 02, se supera el estándar establecido; y para el caso de los Nitritos en todas las estaciones se supera el estándar establecido.

En el anexo 4; se muestran los resultados de Metales Totales (ICP) obtenidos en las estaciones PZA – 01, PZA – 02, PZA – 03, PZA – 04 y PZA – 05, donde se identifica que todas las estaciones cumplen con los estándares de Aluminio, Arsénico, Bario, Boro, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Litio, Magnesio, Manganeso, Níquel, Plata, Selenio y Zinc establecidos. Sin embargo para el caso del Hierro en las estaciones PZA – 01 y PZA – 02, se supera el estándar establecido. La concentración del Plomo en las estaciones monitoreadas como PZA – 02 y PZA – 05, se supera el estándar establecido, y finalmente para el caso del Sodio en todas las estaciones se supera el estándar de calidad para para agua establecido..

Tabla N° 6.2.2: Resultados Físico-Químico, Unidad “Conchan”

Estación	Fecha	Hora	pH	T °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
PZ-01	31/05/2014	14:30	7,61	23,9	2 018	6,53
	27/10/2014	11:00	8,14	26,9	17 540	5,96
	27/02/2015	14:40	9,54	28,6	18 430	3,67
PZ-02	31/05/2014	15:50	7,59	22,8	1 974	6,37
	27/10/2014	12:15	7,71	27,5	7 050	4,40
	27/02/2015	13:15	10,14	28,6	5 940	2,91
PZ-03	31/05/2014	17:30	7,63	22,5	2 011	6,74
	27/10/2014	13:25	7,75	27,9	23 800	4,82
	27/02/2015	15:45	9,08	29,1	24 500	3,21
PZ-04	31/05/2014	08:50	7,58	23,7	1 998	6,32
	27/10/2014	09:40	8,03	29,0	9 580	3,93
	27/02/2015	12:50	8,87	31,2	9 510	2,14
PZ-05	31/05/2014	10:10	7,53	24,2	2 023	6,45
	27/10/2014	08:30	7,77	27,9	17 030	6,25
	27/02/2015	12:15	8,86	31,0	17 260	3,42
ECA -Agua			6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

NOTA: ECA-Agua (Estándar de calidad ambiental para agua).

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Unidad de operación “Las Dunas”

En la unidad “Las Dunas”, según la Tabla N° 6.2.3 se observa que los resultados de los parámetros de campo obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA - 02, PZA - 05, PZA - 06, PZA – 09 y PZA - 10; donde se identifica que todas las estaciones cumplen con el estándar de calidad ambiental para los parámetros de pH y Oxígeno disuelto. Sin embargo las estaciones PZA - 02, PZA - 05, PZA – 06 y PZA – 09 presentan valores de Conductividad que se encuentran fuera del rango establecido en la norma en mención.

En el anexo 4; se muestran los resultados del análisis de laboratorio obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA - 02, PZA - 05, PZA - 06, PZA – 09 y PZA - 10; las cuales presentan valores de Fluoruros, Bicarbonatos, Carbonatos, Nitratos, Nitritos y Sulfuros, que cumplen los estándares de calidad ambiental. Sin embargo para contenido de Fosfato en la estación PZA – 02 se supera el estándar establecido y para el caso de los Cloruros y Sulfatos en todas las estaciones se supera el estándar establecido.

En el anexo 4, correspondiente a los resultados de Metales Totales (ICP) obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA - 02, PZA - 05, PZA - 06, PZA – 09

y PZA – 10, donde se identifica que todas las estaciones cumplen con los estándares de Bario, Cobalto, Cobre, Litio, Magnesio, Níquel, Plata y Zinc establecidos. Sin embargo para el caso del Aluminio, Arsénico y Hierro en la estación PZA – 02 se supera el estándar establecido, para el caso del Boro en la estación PZA - 06 se supera el estándar establecido, para el caso del Cadmio en las estaciones PZA - 01, PZA – 02 y PZA - 06 se supera el estándar establecido, para el caso del Calcio y el Sodio en todas las estaciones se supera el estándar establecido, Para el caso del Manganeso y el Plomo en las estaciones PZA – 02 y PZA - 06 se supera el estándar establecido y finalmente para el caso del Selenio en la estación PZA - 05 se supera el estándar establecido.

Tabla N° 6.2.3: Resultados Físico-Químico, Unidad “Las Dunas”

Estación	Fecha	Hora	pH	T °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
PZ-01	02/06/2014	08:45	7,55	24,1	1 998	7,23
	28/10/2014	16:55	7,44	27,1	20 340	5,22
	28/02/2015	11.50	9,28	29,5	20 100	3,80
PZ-02	02/06/2014	10:30	7,35	24,9	2 127	5,78
	29/10/2014	07:30	6,96	23,4	2 328	5,54
	28/02/2015	12:30	9,13	28,9	2 320	2,44
PZ-05	01/06/2014	15:10	7,48	24,7	2 107	6,30
	28/10/2014	12:30	7,18	25,5	25 900	4,28
	28/02/2015	11:10	8,32	26,6	24 500	2,48
PZ-06	02/06/2014	11:25	7,24	24,7	2 036	7,32
	29/10/2014	09:20	6,97	23,4	3 640	3,64
	28/02/2015	13:00	9,17	26,8	54 600	3,40
PZ-09	01/06/2014	16:30	7,49	22,9	2 092	6,27
	28/10/2014	14:30	7,36	25,4	8 030	4,45
	28/02/2015	14:05	9,43	27,1	8 190	2,05
PZ-10	02/06/2014	07:25	7,19	23,2	1 844	5,53
	28/10/2014	15:45	7,36	26,9	11 930	6,41
	28/02/2015	13:35	9,12	27,9	10 590	3,84
ECA -Agua			6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

NOTA: ECA-Agua (Estándar de calidad ambiental para agua).

Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Unidad de operación “Las Hienas”

De los resultados obtenido de los ensayos realizados en campo y en laboratorio de la unidad “Las Hienas”. Se observa que los resultados de los parámetros de campo obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA – 02 y PZA - 03; donde se identifica que todas las estaciones cumplen con el estándar de

calidad ambiental para los parámetros de pH y Oxígeno disuelto. Sin embargo en todas las estaciones los valores de Conductividad se encuentran fuera del rango establecido. En las tablas que se presentan en el Anexo 4; se presentan los resultados del análisis de laboratorio obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA – 02 y PZA - 03; las cuales presentan valores de Fluoruros, Carbonatos, Fosfatos, Nitratos y Sulfuros que cumplen los estándares de calidad ambiental para agua. Sin embargo para el caso del Cloruro y los Nitritos en las estaciones PZA – 01 y PZA – 02 se supera el estándar establecido. Las muestras de Bicarbonatos encontradas en la estación PZA – 02 superan el estándar establecido y para el caso del Sulfato en todas las estaciones se supera el estándar establecido.

En la Tabla correspondiente al Anexo 4; se muestran los resultados de Metales Totales (ICP) obtenidos en las estaciones PZA - 01, PZA – 02 y PZA – 03, durante el tiempo de monitoreo realizado, donde se identifica que todas las estaciones cumplen con los estándares de Aluminio, Arsénico, Bario, Boro, Cobalto, Cobre, Litio, Magnesio, Níquel, Plata, Selenio y Zinc establecidos. Para el caso del Calcio en las estaciones PZA – 02 y PZA – 03 se supera el estándar establecido, el contenido de Hierro y Plomo en la estación PZA – 02 se supera el estándar establecido, y finalmente para el contenido de Manganeso y Sodio en las estaciones PZA – 01 y PZA – 02 se supera el estándar establecido.

Tabla N° 6.2.4: Resultados Físico-Químico, Unidad “Las Hienas”

Estación	Fecha	Hora	pH	T °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
PZ-01	01/06/14	07:30	7,77	24,1	2 025	5,76
	27/10/14	05:10	7,80	24,4	6 830	6,17
	27/02/15	18:10	9,27	25,9	8 530	4,54
PZ-02	01/06/14	10:00	7,73	26,6	2 017	4,08
	28/10/14	08:20	7,58	23,6	8 070	4,75
	27/02/15	18:50	9,56	25,4	7 620	2,84
PZ-03	01/06/14	11:45	7,63	26,0	2 006	4,32
	28/10/15	10:05	7,61	24,1	2 035	5,04
	28/02/15	08:10	8,82	24,7	1 966	2,07
ECA -Agua			6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

NOTA: ECA –Agua (Estándar de calidad ambiental para agua).

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Contrastación de hipótesis

En la Tabla N°6.3.1, se presenta los resultados de la contrastación de las hipótesis, planteadas para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla N° 6.3.1: Contrastación de Hipótesis

N°	Hipótesis	Decisión
1	El empleo de sensores eléctricos determina el nivel freático en las diferentes etapas de operación de una empresa cementera.	Aceptada
2	El piezómetro de tubo abierto con sensor eléctrico, permite extraer muestras de aguas subterráneas para la verificación de la misma	Aceptada

Fuente: Elaboración propia.

• **Hipótesis específica N°1:** El empleo de sensores eléctricos determina el nivel freático en las diferentes etapas de operación de una empresa cementera.

Esta hipótesis ha sido aceptada, porque los resultados obtenidos y expresados en gráficos, nos permitieron identificar los periodos de los niveles máximos y mínimos del nivel freático alcanzados durante las actividades de operación de las unidades de una empresa cementera.

• **Hipótesis específica N°2:** El piezómetro de tubo abierto con sensor eléctrico, permite extraer muestras de agua subterránea para la verificación de la misma.

Esta hipótesis N°2, ha sido aceptada porque la configuración misma del piezómetro de tubo abierto permitió la extracción de muestras, que fueron analizadas en campo y en laboratorio. Se demostró y comprobó las ventajas que presenta este tipo de instrumentación para el monitoreo de la calidad del agua subterránea.

6.4 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos para el monitoreo del nivel freático y los parámetros físico-químicos con sensores eléctricos pueden ser optimizados mediante el uso de sensores automáticos. Jiménez & Colmenares (2009), quienes obtuvieron resultados favorables en su investigación de tesis de grado, en el cual comprobaron las ventajas y funcionalidad de estos equipos.

Las variaciones del nivel freático en las estaciones monitoreadas, presentaban tendencias crecientes o decrecientes durante ciertos periodos de tiempo, estos resultados pueden ser optimizados, según presentan Neri, Escolero, Torres & Riquer (2014), ellos presentaron registros de monitoreo con intervalos de tiempo más cortos, obteniendo así tendencias de variación más precisas, que les permitieron identificar zonas más vulnerables al incremento de nivel freático y el periodo que estos podrían estar afectados durante las inundaciones.

En las unidades de operación se encontraron variabilidad en los resultados de análisis de calidad del agua, cada piezómetro estudiado presentaba indicadores diferentes, en algunos meses los parámetros permisibles eran excedidos y en otros meses no, esto es debido a las filtraciones que provienen de las partes altas, y que fueron analizadas anteriormente en los estudios hidrogeológicos realizados en la unidades de operación.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el monitoreo con piezómetros de tubo abierto mediante el uso de sensores eléctricos determina los niveles freáticos y la calidad del agua subterránea en las diferentes etapas de operación de las unidades extractivas de materia prima, de una empresa cementera.
2. De los resultados de análisis químico del agua, para las unidades de operación, se concluye que las estaciones de monitoreo cumplen un rol importante, porque permite determinar las condiciones de las aguas subterráneas existentes en la zona de estudio; y; además mediante diversos métodos, permitirá predecir en conjunto con el registro de nivel freático, la dirección del flujo de agua contaminada o la ubicación del foco de contaminación, con el posterior objetivo de disminuir o eliminar los agentes contaminantes, dentro del área que ha sido afectada.
3. El monitoreo con piezómetros abiertos no se limita solo a verificar el nivel freático, este tipo de instrumentación permite además identificar las variaciones de las presiones de poros que se presentan en diferentes trabajos, entre los que se menciona construcción de terraplenes, de edificios, en excavaciones, entre otros trabajos que se encuentran afectados por la presencia de agua superficial o subterránea.
4. De los resultados obtenidos, podemos concluir que existen tiempos o periodos claves que se deben tomar en cuenta en la fase de monitoreo del nivel freático, entre los que mencionamos:
 - a. Al final de un periodo de estiaje prologando, el nivel freático se encuentra en un mínimo.
 - b. En las épocas de avenidas o series de lluvias intensas, tenemos que el nivel freático alcanza su mayor nivel.
 - c. Por último, cuando ocurren eventos con lluvias significativas, se tiene que el nivel freático se mantiene en etapa de transición.
5. Con la instrumentación geotécnica con piezómetros de tubo abierto, para determinar el nivel freático y la calidad del agua, se comprueba que es factible determinar los niveles de contaminantes presentes en aguas subterráneas y verificar si se encuentran dentro de los parámetros de los

estándares de calidad ambiental para agua, establecidos por las entidades a cargo, para controlar y mitigar las emisiones de agentes contaminantes que alteren la calidad del recurso hídrico.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar las posibles filtraciones de agua proveniente de las zonas agrícolas ubicadas en las partes altas, y su posible influencia en el aumento de la contaminación del nivel de agua en las partes bajas, ya sea por el uso de fertilizantes o químicos, lo cual afectan directamente los flujos de agua, que son aprovechados por la población y el ecosistema.
2. Implementar con más sensores eléctricos automáticos en los trabajos de medición de nivel freático y calidad de aguas subterráneas, en los piezómetros de las zonas de estudio, según las investigaciones y trabajos realizados en otros países, en el cual, demostraron que estos sensores, reciben y almacenan información periódica de parámetros, tales como, temperatura, conductividad eléctrica, presión barométrica y presión de poros, facilitando la obtención de información a detalle de estos parámetros y disminuyendo los costos de operación ocasionados por el monitoreo tradicional.
3. Adicionar al uso de sensores eléctricos automáticos equipos inalámbricos o de conexión remota, que permitan monitorear en tiempo real, las condiciones del agua subterránea, con el objetivo de tomar acciones inmediatas en casos de contaminación.
4. Complementar la evaluación de la calidad de agua, con un análisis más detallado sobre los aspectos ambientales, económicos y sociales, con el propósito de proponer un sistema integrado que permita una adecuada gestión del uso del agua, en aquellos lugares donde se tiene operaciones mineras metálicas y no-metálicas, que se encuentran cercanas a poblaciones, que son beneficiadas por el recurso hídrico existente.

BIBLIOGRAFÍA

- (1). Alva, J. & Escalaya, M. (2006). Instrumentación geotécnica de la Presa Pillones. CISMID.
[Fecha de acceso: 13 de Julio de 2015. URL disponible en: http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo40_a.pdf].
- (2). Bartholomew, Ch. & Murray, B. (1987). Embankment dam instrumentation manual. A water resources technical publication. United States department of the interior.
- (3). Beltran, C. & Vintimilla, J. (2014). Estudio de la instrumentación a utilizar en las presas de tierra del proyecto Pacalori. Tesis de grado. Universidad de Cuenca-Ecuador.
- (4). Beck, P. (2003). Use of Multilevel systems to support programs to manage contaminated groundwater. Solinst Inc.
[Fecha de acceso: 10 de Julio de 2015. URL disponible en: <http://www.solinst.com/resources/papers/htmlarticles/petronewsoc03/petronewsoc03a.php>].
- (5). Charbeneau, R. (2000). Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport. 1^{era} Ed. Waveland Press.
- (6). Duncan, J., Wright, S. & Brandon, T. (2014). Soil strength and slope stability. 2^{da} Ed., John Wiley and Sons.
- (7). Geo Master (2015). Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A. Atocongo. UNACEM.
- (8). Geo Master (2014). Informe de Limpieza y Drenaje de Piezómetros para Estudio Hidrogeológico de la U.E.A.Cristina. UNACEM.
- (9). González, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. 1^{era} Ed. Pearson Educación.
- (10). Holtz, R. & Kovacs, W. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall.
- (11). Hvorslev, J. (1951). Time lag and soil permeability in ground-water observations. Boletín N°36. Waterways experiment station. Corps of Engineer U.S., Army.

- (12). Hydrogeological & Geotechnical Services Perú (2014). Estudio de Balance Hídrico para la U.E.A. Las Dunas. UNACEM.
- (13). INGEMMET (1992). Boletín N° 43 Geología de los cuadrángulos Lima, Chosica, Lurín y Chancay. Ed. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- (14). Jiménez, J. & Colmenares, S. (2009). Medición de parámetros físico-químicos y biológicos del agua subterránea en la zona de Bucaramanga. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander- Colombia.
- (15). Johnson, A. (1965). Piezometers for pore- pressure measurements in fine-textured soils. Departament of the Interior Geological Survey.
- (16). Lambe, W. & Whitman, R. (1969). Soil Mechanics. 1st Ed. John Wiley and Sons.
- (17). MINAM. (2008). Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Ministerio del Ambiente.
[Fecha de acceso: 5 de Julio de 2015. URL disponible en: http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf].
- (18). Solinst (2014), Manual del producto Solinst.
[Fecha de acceso: 25 Julio de 2015]. URL disponible en: <http://www.solinst.com/espanol/productos/ds/3001-es.pdf>.
- (19). Neri, I., Escolero, O., Torres, S. & Riquer, G. (2014). Inundaciones por agua subterránea en zonas costeras. Caso de estudio acuífero de Veracruz. Vol. 66, Núm. 2. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
[Fecha de acceso: 15 Agosto de 2015]. URL disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94331762003>].
- (20). Novak, P., Nalluri, C. & Moffat, A. (2001). Estructuras Hidráulicas. 2nd Ed, Mac Graw-Hill.
- (21). Peck, R., Hanson, W. & Thornburn T. (1982). Foundation Engineering. 2nd Ed, John Wiley and Sons.
- (22). Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Ed, John Wiley and Sons.

- (23). Walsh Perú (2009). Actualización del Plan de Cierre de Minas a Nivel de Factibilidad de las Canteras y Botaderos de la Concesión Atocongo. UNACEM.
- (24). Walsh Perú (2014). Actualización del Plan de Cierre de Minas a Nivel de Factibilidad de las Canteras y Botaderos de la Concesión Cristina. UNACEM.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título de la Propuesta:	"INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA PARA MONITOREAR EL NIVEL FREÁTICO Y CALIDAD DE AGUA CON SENSORES ELÉCTRICOS EN PIEZÓMETROS DE TUBO ABIERTO".			
Presentado por:	-Cabrera Trujillo, Paul Hugo -Sanabria Pérez, Juan Sandino			
Planteamiento del Problema:				
<p>En la actualidad, el monitoreo geotécnico relacionado a los niveles y calidad del agua subterránea, sobre todo en nuestro país, no están cumpliendo con las expectativas esperadas en las empresas cementeras, petroleras y mineras. Los piezómetros de tubo abierto o de cuerda vibrante, que son los más usados, presentan deficiencias en las etapas de recrecimiento y en trabajos de ampliaciones en zonas de explotación, además se menciona que presentan mayores dificultades para monitorear de manera continua con periodos de registro cortos los niveles freáticos, porque no permiten la identificación de los cambios temporales de las superficies freáticas y los datos de la calidad del agua subterránea, que son indicadores indispensables en la determinación del nivel y tipo de contaminantes existentes que se presentan en las zonas de operación.</p> <p>Ante estos problemas expuestos, se planteará el uso del sensor eléctrico así como los procesos y pasos necesarios para obtener una base de datos que permita estimar la variación del nivel freático y la calidad del agua partir de los requerimientos solicitados por las entidades que fiscalizan y salvaguardan los recursos hídricos y el ecosistema.</p>				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<u>Formulación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis Principal</u>		
¿Cómo monitorear el nivel freático y calidad del agua en los centros de operaciones de una cementera con un piezómetro de tubo abierto?	El objetivo principal es determinar el nivel freático y la calidad del agua mediante sensores eléctricos en los centros de operación de una cementera.	Mediante el uso de un sensor eléctrico automático en un piezómetro abierto, permite obtener el nivel freático y calidad del agua en diferentes etapas de operación de una cementera.	V:Instrumentación geotécnica. V: Nivel freático. V: calidad del agua. V: Ubicación.	1. Profundidad Piezómetro. 2. Profundidad del nivel de agua. 3. Contenido de contaminantes.

Continuación del Anexo 1: Matriz de consistencia

<u>Sistematización</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	<u>Hipótesis Específicas</u>	<u>Variables</u>	<u>Indicadores</u>
¿Cómo monitorear el nivel freático en los centros de operación de una cementera?	Determinar el nivel freático, en un piezómetro de tubo abierto con el uso de un sensor eléctrico.	El empleo de sensores eléctricos determina el nivel freático en las diferentes etapas de operación de una cementera.	V: Instrumentación geotécnica. V: Nivel freático. V: Ubicación. V: Periodos de evaluación.	1. Profundidad Piezómetro. 2. Profundidad del nivel de agua. 3. Fecha y periodos de monitoreo.
¿Cómo verificar la calidad del agua subterránea dentro y en los alrededores del área de los centros de operación de una cementera?	Monitorear la calidad del agua en un piezómetro de tubo abierto con sensor eléctrico mediante extracción de muestras.	El piezómetro de tubo abierto con sensor eléctrico, permite extraer muestras de aguas subterráneas para la verificación de la misma en campo y laboratorio.	V: Instrumentación geotécnica. V: Calidad del agua. V: Ubicación. V: Periodos de evaluación.	1. Contenido de contaminantes, parámetros estándar de calidad del agua (ECA). 2. Fechas y periodos de monitoreo.

Anexo 2: Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Instrumentación geotécnica	Piezómetros de tubo abierto	Número de piezómetros instalados.
Nivel freático	Profundidad del nivel freático	Metro.
Ubicación	Ubicación geográfica y altitud de las estaciones monitoreo	Metro.
Periodo de evaluación	Fecha de monitoreo de las estaciones	Días y meses.
Calidad del agua	Contenido de contaminantes	Parámetros estándar de calidad del agua (ECA).

Anexo 3: Registros de Nivel Freático

UNIDAD DE OPERACIÓN "ATOCONGO" NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-01 Y PZ-02

ABREVIATURAS:

L.P: Longitud del piezómetro (m);

L.S: Longitud medida por el limnómetro (m);

L.C.H: Longitud de carga hidráulica (m);

Cota: Nivel de terreno natural (msnm);

N.F: Nivel freático (msnm).

ITEM	FECHA	Piezómetro 1					Piezómetro 2				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	24-Ene-14	153.20	25.75	127.45	233.00	207.25	168.10	76.20	91.90	264.00	187.80
2	12-Feb-14	153.20	25.75	127.45	233.00	207.25	168.10	76.20	91.90	264.00	187.80
4	27-Feb-14	153.20	25.90	127.30	233.00	207.10	168.10	75.10	93.00	264.00	188.90
5	18-Mar-14	153.20	25.95	127.25	233.00	207.05	168.10	75.34	92.76	264.00	188.66
6	09-Abr-14	153.20	26.01	127.19	233.00	206.99	168.10	76.05	92.05	264.00	187.95
7	06-May-14	153.20	25.96	127.24	233.00	207.04	168.10	76.73	91.37	264.00	187.27
8	27-May-14	153.20	26.13	127.07	233.00	206.87	168.10	77.10	91.00	264.00	186.90
9	05-Jul-14	153.20	26.50	126.70	233.00	206.50	168.10	77.10	91.00	264.00	186.90
10	19-Ago-14	153.20	26.12	127.08	233.00	206.88	168.10	78.90	89.20	264.00	185.10
11	12-Set-14	153.20	26.09	127.11	233.00	206.91	168.10	79.39	88.71	264.00	184.61
12	15-Oct-14	153.20	26.06	127.14	233.00	206.94	168.10	79.90	88.20	264.00	184.10
13	30-Oct-14	153.20	26.24	126.96	233.00	206.76	168.10	80.08	88.02	264.00	183.92
14	12-Nov-14	153.20	26.04	127.16	233.00	206.96	168.10	80.10	88.00	264.00	183.90
15	27-Nov-14	153.20	26.06	127.14	233.00	206.94	168.10	80.35	87.75	264.00	183.65
16	15-Dic-14	153.20	26.03	127.17	233.00	206.97	168.10	80.60	87.50	264.00	183.40
17	07-Ene-15	153.20	25.06	128.14	233.00	207.94	168.10	80.80	87.30	264.00	183.20
18	22-Ene-15	153.20	26.13	127.07	233.00	206.87	168.10	80.85	87.25	264.00	183.15
19	09-Feb-15	153.20	26.15	127.05	233.00	206.85	168.10	81.10	87.00	264.00	182.90
20	24-Feb-15	153.20	26.00	127.20	233.00	207.00	168.10	81.25	86.85	264.00	182.75
21	10-Mar-15	153.20	26.03	127.17	233.00	206.97	168.10	81.35	86.75	264.00	182.65
22	24-Mar-15	153.20	26.00	127.20	233.00	207.00	168.10	81.50	86.60	264.00	182.50
23	22-Abr-15	153.20	26.03	127.17	233.00	206.97	168.10	81.60	86.50	264.00	182.40
24	29-Abr-15	153.20	26.01	127.19	233.00	206.99	168.10	81.75	86.35	264.00	182.25
25	23-Jul-15	153.20	25.95	127.25	233.00	207.05	168.10	82.49	85.61	264.00	181.51

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETROS PZ-04 Y PZ-05 (ATOCONGO)

ITEM	FECHA	Piezómetro 4					Piezómetro 5				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	24-Ene-14	113.80	44.30	69.50	191.00	146.70	190.00	9.35	180.65	246.00	236.65
2	12-Feb-14	113.80	37.80	76.00	191.00	153.20	190.00	9.35	180.65	246.00	236.65
3	27-Feb-14	113.80	74.85	38.95	191.00	116.15	190.00	9.45	180.55	246.00	236.55
4	18-Mar-14	113.80	66.42	47.38	191.00	124.58	190.00	9.60	180.40	246.00	236.40
5	09-Abr-14	113.80	58.39	55.41	191.00	132.61	190.00	9.43	180.57	246.00	236.57
6	06-May-14	113.80	48.61	65.19	191.00	142.39	190.00	9.55	180.45	246.00	236.45
7	27-May-14	113.80	66.42	47.38	191.00	124.58	190.00	9.55	180.45	246.00	236.45
8	05-Jul-14	113.80	47.10	66.70	191.00	143.90	190.00	9.58	180.42	246.00	236.42
9	19-Ago-14	113.80	37.04	76.76	191.00	153.96	190.00	9.62	180.38	246.00	236.38
10	12-Set-14	113.80	30.10	83.70	191.00	160.90	190.00	9.60	180.40	246.00	236.40
11	15-Oct-14	113.80	29.20	84.60	191.00	161.80	190.00	9.40	180.60	246.00	236.60
12	30-Oct-14	113.80	27.79	86.01	191.00	163.21	190.00	9.45	180.55	246.00	236.55
13	12-Nov-14	113.80	29.15	84.65	191.00	161.85	190.00	9.40	180.60	246.00	236.60
14	27-Nov-14	113.80	28.22	85.58	191.00	162.78	190.00	9.30	180.70	246.00	236.70
15	15-Dic-14	113.80	28.89	84.91	191.00	162.11	190.00	9.35	180.65	246.00	236.65
16	07-Ene-15	113.80	27.66	86.14	191.00	163.34	190.00	9.30	180.70	246.00	236.70
17	22-Ene-15	113.80	27.41	86.39	191.00	163.59	190.00	9.31	180.69	246.00	236.69
18	09-Feb-15	113.80	27.44	86.36	191.00	163.56	190.00	9.38	180.62	246.00	236.62
19	24-Feb-15	113.80	27.41	86.39	191.00	163.59	190.00	9.33	180.67	246.00	236.67
20	10-Mar-15	113.80	29.24	84.56	191.00	161.76	190.00	9.37	180.63	246.00	236.63
21	24-Mar-15	113.80	28.66	85.14	191.00	162.34	190.00	9.36	180.64	246.00	236.64
22	22-Abr-15	113.80	28.48	85.32	191.00	162.52	190.00	9.53	180.47	246.00	236.47
23	29-Abr-15	113.80	28.25	85.55	191.00	162.75	190.00	9.50	180.50	246.00	236.50
24	23-Jul-15	113.80	27.60	86.20	191.00	163.40	190.00	9.61	180.39	246.00	236.39

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETROS PZ-06 Y PZ-07(ATOCONGO)

ITEM	FECHA	Piezómetro 6					Piezómetro 7				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	24-Ene-14	80.00	43.20	36.80	230.00	186.80	115.00	48.10	66.90	197.00	148.90
2	12-Feb-14	80.00	43.10	36.90	230.00	186.90	115.00	48.10	66.90	197.00	148.90
3	27-Feb-14	80.00	42.90	37.10	230.00	187.10	115.00	48.10	66.90	197.00	148.90
4	18-Mar-14	80.00	42.85	37.15	230.00	187.15	115.00	48.00	67.00	197.00	149.00
5	09-Abr-14	80.00	42.68	37.32	230.00	187.32	115.00	47.98	67.02	197.00	149.02
6	06-May-14	80.00	42.61	37.39	230.00	187.39	115.00	47.87	67.13	197.00	149.13
7	27-May-14	80.00	42.70	37.30	230.00	187.30	115.00	47.95	67.05	197.00	149.05
8	05-Jul-14	80.00	42.58	37.42	230.00	187.42	115.00	47.90	67.10	197.00	149.10
9	19-Ago-14	80.00	42.80	37.20	230.00	187.20	115.00	47.97	67.03	197.00	149.03
10	12-Set-14	80.00	42.85	37.15	230.00	187.15	115.00	48.05	66.95	197.00	148.95
11	15-Oct-14	80.00	43.94	36.06	230.00	186.06	115.00	48.17	66.83	197.00	148.83
12	30-Oct-14	80.00	43.02	36.98	230.00	186.98	115.00	48.15	66.85	197.00	148.85
13	12-Nov-14	80.00	43.10	36.90	230.00	186.90	115.00	48.20	66.80	197.00	148.80
14	27-Nov-14	80.00	48.13	31.87	230.00	181.87	115.00	48.25	66.75	197.00	148.75
15	15-Dic-14	80.00	43.15	36.85	230.00	186.85	115.00	48.25	66.75	197.00	148.75
16	07-Ene-15	80.00	43.03	36.97	230.00	186.97	115.00	48.34	66.66	197.00	148.66
17	22-Ene-15	80.00	42.98	37.02	230.00	187.02	115.00	48.39	66.61	197.00	148.61
18	09-Feb-15	80.00	42.83	37.17	230.00	187.17	115.00	48.41	66.59	197.00	148.59
19	24-Feb-15	80.00	42.80	37.20	230.00	187.20	115.00	48.40	66.60	197.00	148.60
20	10-Mar-15	80.00	42.77	37.23	230.00	187.23	115.00	48.45	66.55	197.00	148.55
21	24-Mar-15	80.00	42.75	37.25	230.00	187.25	115.00	48.49	66.51	197.00	148.51
22	22-Abr-15	80.00	42.70	37.30	230.00	187.30	115.00	48.50	66.50	197.00	148.50
23	29-Abr-15	80.00	42.66	37.34	230.00	187.34	115.00	48.50	66.50	197.00	148.50
24	23-Jul-15	80.00	42.88	37.12	230.00	187.12	115.00	48.64	66.36	197.00	148.36

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-08 Y PZ-10(ATOCONGO)

ITEM	FECHA	Piezómetro 8					Piezómetro 10				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	24-Ene-14	99.20	58.20	41.00	192.00	133.80	74.80	56.80	18.00	215.00	158.20
2	12-Feb-14	99.20	57.30	41.90	192.00	134.70	74.80	57.00	17.80	215.00	158.00
3	27-Feb-14	99.20	57.60	41.60	192.00	134.40	74.80	55.15	19.65	215.00	159.85
4	18-Mar-14	99.20	57.50	41.70	192.00	134.50	74.80	55.15	19.65	215.00	159.85
5	09-Abr-14	99.20	57.49	41.71	192.00	134.51	74.80	55.15	19.65	215.00	159.85
6	06-May-14	99.20	57.22	41.98	192.00	134.78	74.80	55.05	19.75	215.00	159.95
7	27-May-14	99.20	57.50	41.70	192.00	134.50	74.80	55.05	19.75	215.00	159.95
8	05-Jul-14	99.20	55.90	43.30	192.00	136.10	74.80	55.05	19.75	215.00	159.95
9	19-Ago-14	99.20	57.53	41.67	192.00	134.47	74.80	54.97	19.83	215.00	160.03
10	12-Set-14	99.20	57.65	41.55	192.00	134.35	74.80	54.98	19.82	215.00	160.02
11	15-Oct-14	99.20	57.85	41.35	192.00	134.15	74.80	55.11	19.69	215.00	159.89
12	30-Oct-14	99.20	57.80	41.40	192.00	134.20	74.80	55.14	19.66	215.00	159.86
13	12-Nov-14	99.20	57.86	41.34	192.00	134.14	74.80	55.18	19.62	215.00	159.82
14	27-Nov-14	99.20	57.86	41.34	192.00	134.14	74.80	55.26	19.54	215.00	159.74
15	15-Dic-14	99.20	57.65	41.55	192.00	134.35	74.80	55.34	19.46	215.00	159.66
16	07-Ene-15	99.20	57.95	41.25	192.00	134.05	74.80	55.46	19.34	215.00	159.54
17	22-Ene-15	99.20	57.94	41.26	192.00	134.06	74.80	55.51	19.29	215.00	159.49
18	09-Feb-15	99.20	57.85	41.35	192.00	134.15	74.80	55.66	19.14	215.00	159.34
19	24-Feb-15	99.20	57.88	41.32	192.00	134.12	74.80	55.68	19.12	215.00	159.32
20	10-Mar-15	99.20	57.88	41.32	192.00	134.12	74.80	55.72	19.08	215.00	159.28
21	24-Mar-15	99.20	57.88	41.32	192.00	134.12	74.80	55.75	19.05	215.00	159.25
22	22-Abr-15	99.20	57.73	41.47	192.00	134.27	74.80	55.78	19.02	215.00	159.22
23	29-Abr-15	99.20	57.82	41.38	192.00	134.18	74.80	55.81	18.99	215.00	159.19
24	23-Jul-15	99.80	57.99	41.81	192.00	134.01	74.80	56.06	18.74	215.00	158.94

UNIDAD DE OPERACIÓN “CONCHAN”

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-01 A Y PZ-01 B

ITEM	FECHA	Piezómetro 01 A					Piezómetro 01 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	20-Oct-13	24.10	3.30	20.80	3.00	-0.30	4.50	2.70	1.80	3.00	0.30
2	13-Nov-13	24.10	2.50	21.60	3.00	0.50	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
3	05-Dic-13	24.10	2.50	21.60	3.00	0.50	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
4	03-Ene-14	24.10	2.60	21.50	3.00	0.40	4.50	2.60	1.90	3.00	0.40
5	21-Ene-14	24.10	2.55	21.55	3.00	0.45	4.50	2.55	1.95	3.00	0.45
6	07-Feb-14	24.10	2.55	21.55	3.00	0.45	4.50	2.55	1.95	3.00	0.45
7	26-Feb-14	24.10	2.53	21.57	3.00	0.47	4.50	2.53	1.97	3.00	0.47
8	18-Mar-14	24.10	2.52	21.58	3.00	0.48	4.50	2.52	1.98	3.00	0.48
9	07-Abr-14	24.10	2.50	21.60	3.00	0.50	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
10	26-May-14	24.10	2.45	21.65	3.00	0.55	4.50	2.45	2.05	3.00	0.55
11	03-Jul-14	24.10	2.42	21.68	3.00	0.58	4.50	2.35	2.15	3.00	0.65
12	14-Ago-14	24.10	2.60	21.50	3.00	0.40	4.50	2.54	1.96	3.00	0.46
13	15-Set-14	24.10	2.48	21.62	3.00	0.52	4.50	2.40	2.10	3.00	0.60
14	15-Oct-14	24.10	2.61	21.49	3.00	0.39	4.50	2.53	1.97	3.00	0.47
15	27-Oct-14	24.10	2.59	21.51	3.00	0.41	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
16	12-Nov-14	24.10	2.44	21.66	3.00	0.56	4.50	2.40	2.10	3.00	0.60
17	27-Nov-14	24.10	2.59	21.51	3.00	0.41	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
18	15-Dic-14	24.10	2.55	21.55	3.00	0.45	4.50	2.47	2.03	3.00	0.53
19	07-Ene-15	24.10	2.56	21.54	3.00	0.44	4.50	2.46	2.04	3.00	0.54
20	22-Ene-15	24.10	2.59	21.51	3.00	0.41	4.50	2.53	1.97	3.00	0.47
21	09-Feb-15	24.10	2.56	21.54	3.00	0.44	4.50	2.50	2.00	3.00	0.50
22	24-Feb-15	24.10	2.47	21.63	3.00	0.53	4.50	2.39	2.11	3.00	0.61
23	10-Mar-15	24.10	2.41	21.69	3.00	0.59	4.50	2.36	2.14	3.00	0.64
24	24-Mar-15	24.10	2.34	21.76	3.00	0.66	4.50	2.29	2.21	3.00	0.71
25	24-Jul-15	24.10	2.44	20.56	3.00	0.56	6.50	2.41	4.09	3.00	0.59

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-02A Y PZ-02B (CONCHAN)

ITEM	FECHA	Piezómetro 02 A					Piezómetro 02 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	20-Oct-13	14.00	2.80	11.20	3.00	0.20	7.00	2.80	4.20	3.00	0.20
2	13-Nov-13	14.00	2.45	11.55	3.00	0.55	7.00	2.45	4.55	3.00	0.55
3	05-Dic-13	14.00	2.45	11.55	3.00	0.55	7.00	2.45	4.55	3.00	0.55
4	03-Ene-14	14.00	2.45	11.55	3.00	0.55	7.00	2.45	4.55	3.00	0.55
5	21-Ene-14	14.00	2.40	11.60	3.00	0.60	7.00	2.40	4.60	3.00	0.60
6	07-Feb-14	14.00	2.40	11.60	3.00	0.60	7.00	2.40	4.60	3.00	0.60
7	26-Feb-14	14.00	2.43	11.57	3.00	0.57	7.00	2.43	4.57	3.00	0.57
8	18-Mar-14	14.00	2.38	11.62	3.00	0.62	7.00	2.38	4.62	3.00	0.62
9	07-Abr-14	14.00	2.35	11.65	3.00	0.65	7.00	2.35	4.65	3.00	0.65
10	26-May-14	14.00	2.30	11.70	3.00	0.70	7.00	2.30	4.70	3.00	0.70
11	03-Jul-14	14.00	2.31	11.69	3.00	0.69	7.00	2.31	4.69	3.00	0.69
12	14-Ago-14	14.00	2.47	11.53	3.00	0.53	7.00	2.47	4.53	3.00	0.53
13	15-Set-14	14.00	2.37	11.63	3.00	0.63	7.00	2.37	4.63	3.00	0.63
14	15-Oct-14	14.00	2.42	11.58	3.00	0.58	7.00	2.42	4.58	3.00	0.58
15	27-Oct-14	14.00	2.39	11.61	3.00	0.61	7.00	2.39	4.61	3.00	0.61
16	12-Nov-14	14.00	2.32	11.68	3.00	0.68	7.00	2.32	4.68	3.00	0.68
17	27-Nov-14	14.00	2.40	11.60	3.00	0.60	7.00	2.40	4.60	3.00	0.60
18	15-Dic-14	14.00	2.40	11.60	3.00	0.60	7.00	2.40	4.60	3.00	0.60
19	07-Ene-15	14.00	2.42	11.58	3.00	0.58	7.00	2.42	4.58	3.00	0.58
20	22-Ene-15	14.00	2.40	11.60	3.00	0.60	7.00	2.40	4.60	3.00	0.60
21	09-Feb-15	14.00	2.42	11.58	3.00	0.58	7.00	2.42	4.58	3.00	0.58
22	24-Feb-15	14.00	2.31	11.69	3.00	0.69	7.00	2.31	4.69	3.00	0.69
23	10-Mar-15	14.00	2.32	11.68	3.00	0.68	7.00	2.32	4.68	3.00	0.68
24	24-Mar-15	14.00	2.29	11.71	3.00	0.71	7.00	2.27	4.73	3.00	0.73
25	24-Jul-15	14.00	2.30	11.60	3.00	0.70	7.00	2.28	4.72	3.00	0.72

NIVEL FREÁTICO - PIEZOMETROS PZ-03A Y PZ-03B (CONCHAN)

ITEM	FECHA	Piezómetro 03 A					Piezómetro 03 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	20-Oct-13	28.40	2.75	25.65	3.00	0.25	6.60	2.75	3.85	3.00	0.25
2	13-Nov-13	28.40	2.55	25.85	3.00	0.45	6.60	2.50	4.10	3.00	0.50
3	05-Dic-13	28.40	2.55	25.85	3.00	0.45	6.60	2.50	4.10	3.00	0.50
4	03-Ene-14	28.40	2.45	25.95	3.00	0.55	6.60	2.45	4.15	3.00	0.55
5	21-Ene-14	28.40	2.50	25.90	3.00	0.50	6.60	2.50	4.10	3.00	0.50
6	07-Feb-14	28.40	2.50	25.90	3.00	0.50	6.60	2.50	4.10	3.00	0.50
7	26-Feb-14	28.40	2.55	25.85	3.00	0.45	6.60	2.55	4.05	3.00	0.45
8	18-Mar-14	28.40	2.54	25.86	3.00	0.46	6.60	2.54	4.06	3.00	0.46
9	07-Abr-14	28.40	2.45	25.95	3.00	0.55	6.60	2.45	4.15	3.00	0.55
10	26-May-14	28.40	2.41	25.99	3.00	0.59	6.60	2.41	4.19	3.00	0.59
11	03-Jul-14	28.40	2.37	26.03	3.00	0.63	6.60	2.37	4.23	3.00	0.63
12	14-Ago-14	28.40	2.56	25.84	3.00	0.44	6.60	2.54	4.06	3.00	0.46
13	15-Set-14	28.40	2.43	25.97	3.00	0.57	6.60	2.40	4.20	3.00	0.60
14	15-Oct-14	28.40	2.54	25.86	3.00	0.46	6.60	2.51	4.09	3.00	0.49
15	27-Oct-14	28.40	2.51	25.89	3.00	0.49	6.60	2.48	4.12	3.00	0.52
16	12-Nov-14	28.40	2.41	25.99	3.00	0.59	6.60	2.40	4.20	3.00	0.60
17	27-Nov-14	28.40	2.57	25.83	3.00	0.43	6.60	2.54	4.06	3.00	0.46
18	15-Dic-14	28.40	2.52	25.88	3.00	0.48	6.60	2.49	4.11	3.00	0.51
19	07-Ene-15	28.40	2.51	25.89	3.00	0.49	6.60	4.48	2.12	3.00	-1.48
20	22-Ene-15	28.40	2.54	25.86	3.00	0.46	6.60	2.51	4.09	3.00	0.49
21	09-Feb-15	28.40	2.52	25.88	3.00	0.48	6.60	2.49	4.11	3.00	0.51
22	24-Feb-15	28.40	2.41	25.99	3.00	0.59	6.60	2.37	4.23	3.00	0.63
23	10-Mar-15	28.40	2.39	26.01	3.00	0.61	6.60	2.35	4.25	3.00	0.65
24	24-Mar-15	28.40	2.32	26.08	3.00	0.68	6.60	2.28	4.32	3.00	0.72
25	24-Jul-15	28.40	2.41	26.19	3.00	0.59	6.50	2.36	4.14	3.00	0.64

NIVEL FREÁTICO - PIEZÓMETROS PZ-04A Y PZ-04B (CONCHAN)

ITEM	FECHA	Piezómetro 04 A					Piezómetro 04 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	20-Oct-13	23.90	3.00	20.90	18.00	15.00	7.00	3.00	2.20	18.00	15.00
2	13-Nov-13	23.90	3.60	20.30	18.00	14.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
3	05-Dic-13	23.90	3.20	20.70	18.00	14.80	7.00	3.20	2.00	18.00	14.80
4	03-Ene-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
5	21-Ene-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
6	07-Feb-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
7	26-Feb-14	23.90	2.62	21.28	18.00	15.38	7.00	2.62	2.58	18.00	15.38
8	18-Mar-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
9	07-Abr-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
10	26-May-14	23.90	2.60	21.30	18.00	15.40	7.00	2.50	2.70	18.00	15.50
11	03-Jul-14	23.90	2.71	21.19	18.00	15.29	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
12	14-Ago-14	23.90	2.90	21.00	18.00	15.10	7.00	2.63	2.57	18.00	15.37
13	15-Set-14	23.90	3.16	20.74	18.00	14.84	7.00	2.58	2.62	18.00	15.42
14	15-Oct-14	23.90	2.95	20.95	18.00	15.05	7.00	2.60	2.60	18.00	15.40
15	27-Oct-14	23.90	2.74	21.16	18.00	15.26	7.00	2.53	2.67	18.00	15.47
16	12-Nov-14	23.90	2.58	21.32	18.00	15.42	7.00	2.55	2.65	18.00	15.45
17	27-Nov-14	23.90	2.88	21.02	18.00	15.12	7.00	2.68	2.52	18.00	15.32
18	15-Dic-14	23.90	2.29	21.61	18.00	15.71	7.00	2.58	2.62	18.00	15.42
19	07-Ene-15	23.90	3.32	20.58	18.00	14.68	7.00	2.55	2.65	18.00	15.45
20	22-Ene-15	23.90	3.32	20.58	18.00	14.68	7.00	5.53	1.47	18.00	12.47
21	09-Feb-15	23.90	3.36	20.54	18.00	14.64	7.00	2.58	4.42	18.00	15.42
22	24-Feb-15	23.90	3.32	20.58	18.00	14.68	7.00	2.54	4.46	18.00	15.46
23	10-Mar-15	23.90	2.76	21.14	18.00	15.24	7.00	2.51	4.49	18.00	15.49
24	24-Mar-15	23.90	2.83	21.07	18.00	15.17	7.00	2.48	4.52	18.00	15.52
25	24-Jul-15	25.60	3.28	22.32	18.00	14.72	7.00	3.20	3.80	18.00	14.80

NIVEL FREÁTICO - PIEZÓMETROS PZ-05A Y PZ-05B (CONCHAN)

ITEM	FECHA	Piezómetro 05 A					Piezómetro 05 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	20-Oct-13	26.30	3.50	22.80	24.00	20.50	7.30	3.50	3.80	24.00	20.50
2	13-Nov-13	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.25	4.05	24.00	20.75
3	05-Dic-13	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.20	4.10	24.00	20.80
4	03-Ene-14	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.35	3.95	24.00	20.65
5	21-Ene-14	26.30	3.25	23.05	24.00	20.75	7.30	3.20	4.10	24.00	20.80
6	07-Feb-14	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
7	26-Feb-14	26.30	3.28	23.02	24.00	20.72	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
8	18-Mar-14	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
9	07-Abr-14	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
10	26-May-14	26.30	3.28	23.02	24.00	20.72	7.30	3.28	4.02	24.00	20.72
11	03-Jul-14	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.26	4.04	24.00	20.74
12	14-Ago-14	26.30	3.30	23.00	24.00	20.70	7.30	3.25	4.05	24.00	20.75
13	15-Set-14	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
14	15-Oct-14	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.30	4.00	24.00	20.70
15	27-Oct-14	26.30	3.34	22.96	24.00	20.66	7.30	3.27	4.03	24.00	20.73
16	12-Nov-14	26.30	3.31	22.99	24.00	20.69	7.30	3.26	4.04	24.00	20.74
17	27-Nov-14	26.30	3.39	22.91	24.00	20.61	7.30	3.35	3.95	24.00	20.65
18	15-Dic-14	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.28	4.02	24.00	20.72
19	07-Ene-15	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.26	4.04	24.00	20.74
20	22-Ene-15	26.30	3.35	22.95	24.00	20.65	7.30	3.26	4.04	24.00	20.74
21	09-Feb-15	26.30	3.37	22.93	24.00	20.63	7.30	3.29	4.01	24.00	20.71
22	24-Feb-15	26.30	3.31	22.99	24.00	20.69	7.30	3.21	4.09	24.00	20.79
23	10-Mar-15	26.30	3.29	23.01	24.00	20.71	7.30	3.18	4.12	24.00	20.82
24	24-Mar-15	26.30	3.28	23.02	24.00	20.72	7.30	3.18	4.12	24.00	20.82
25	24-Jul-15	25.80	2.50	23.30	24.00	21.50	7.00	2.45	4.55	24.00	21.55

UNIDAD DE OPERACIÓN “LAS HIENAS”

NIVEL FREÁTICO - PIEZÓMETROS PZ-01 Y PZ-02

ITEM	FECHA	Piezómetro 1					Piezómetro 2				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	27-Oct-13	15.40	5.35	10.05	17.00	11.65	15.40	2.40	13.00	16.00	13.60
2	12-Nov-13	15.40	6.40	9.00	17.00	10.60	15.40	2.40	13.00	16.00	13.60
3	05-Dic-13	15.40	5.80	9.60	17.00	11.20	15.40	2.40	13.00	16.00	13.60
4	05-Ene-14	15.40	5.30	10.10	17.00	11.70	15.40	2.40	13.00	16.00	13.60
5	22-Ene-14	15.40	5.40	10.00	17.00	11.60	15.40	2.40	13.00	16.00	13.60
6	07-Feb-14	15.40	5.40	10.00	17.00	11.60	15.40	2.50	12.90	16.00	13.50
7	26-Feb-14	15.50	5.45	10.05	17.00	11.55	15.50	2.60	12.90	16.00	13.40
8	18-Mar-14	15.50	5.42	10.08	17.00	11.58	15.50	2.58	12.92	16.00	13.42
9	08-Abr-14	15.50	5.43	10.07	17.00	11.57	15.50	2.73	12.77	16.00	13.27
10	28-May-14	15.50	5.42	10.08	17.00	11.58	15.50	2.58	12.92	16.00	13.42
11	03-Jul-14	15.50	5.40	10.10	17.00	11.60	15.50	2.54	12.96	16.00	13.46
12	16-Ago-14	15.50	5.34	10.16	17.00	11.66	15.50	2.46	13.04	16.00	13.54
13	13-Set-14	15.50	5.33	10.17	17.00	11.67	15.50	2.48	13.02	16.00	13.52
14	16-Oct-14	15.50	5.32	10.18	17.00	11.68	15.50	2.41	13.09	16.00	13.59
15	28-Oct-14	15.50	5.30	10.20	17.00	11.70	15.50	2.44	13.06	16.00	13.56
16	17-Nov-14	15.50	5.33	10.17	17.00	11.67	15.50	2.43	13.07	16.00	13.57
17	28-Nov-14	15.50	5.34	10.16	17.00	11.66	15.50	2.45	13.05	16.00	13.55
18	16-Dic-14	15.50	5.36	10.14	17.00	11.64	15.50	2.47	13.03	16.00	13.53
19	08-Ene-15	15.50	5.36	10.14	17.00	11.64	15.50	2.47	13.03	16.00	13.53
20	24-Ene-15	15.50	5.39	10.11	17.00	11.61	15.50	2.50	13.00	16.00	13.50
21	09-Feb-15	15.50	5.41	10.09	17.00	11.59	15.50	2.52	12.98	16.00	13.48
22	24-Feb-15	15.50	5.40	10.10	17.00	11.60	15.50	2.54	12.96	16.00	13.46
23	11-Mar-15	15.50	5.40	10.10	17.00	11.60	15.50	2.55	12.95	16.00	13.45
24	25-Mar-15	15.50	5.40	10.10	17.00	11.60	15.50	2.54	12.96	16.00	13.46
25	25-Jul-15	15.00	5.38	9.62	17.00	11.62	15.00	2.50	12.50	16.00	13.50
26	02-Set-15	15.00	5.36	9.64	17.00	11.64	15.00	2.46	12.54	16.00	13.54

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETRO PZ-03 (LAS HIENAS)

		Piezómetro 3				
ITEM	FECHA	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	27-Oct-13	15.40	0.15	15.25	17.00	16.85
2	12-Nov-13	15.40	0.20	15.20	17.00	16.80
3	05-Dic-13	15.40	0.20	15.20	17.00	16.80
4	05-Ene-14	15.40	0.20	15.20	17.00	16.80
5	22-Ene-14	15.40	0.20	15.20	17.00	16.80
6	07-Feb-14	15.40	0.20	15.20	17.00	16.80
7	26-Feb-14	16.00	0.26	15.74	17.00	16.74
8	18-Mar-14	16.00	0.24	15.76	17.00	16.76
9	08-Abr-14	16.00	0.23	15.77	17.00	16.77
10	28-May-14	16.00	0.23	15.77	17.00	16.77
11	03-Jul-14	16.00	0.20	15.80	17.00	16.80
12	16-Ago-14	16.00	0.10	15.90	17.00	16.90
13	13-Set-14	16.00	0.10	15.90	17.00	16.90
14	16-Oct-14	16.00	0.10	15.90	17.00	16.90
15	28-Oct-14	16.00	0.08	15.92	17.00	16.92
16	17-Nov-14	16.00	0.10	15.90	17.00	16.90
17	28-Nov-14	16.00	0.15	15.85	17.00	16.85
18	16-Dic-14	16.00	0.13	15.87	17.00	16.87
19	08-Ene-15	16.00	0.13	15.87	17.00	16.87
20	24-Ene-15	16.00	0.18	15.82	17.00	16.82
21	09-Feb-15	16.00	0.18	15.82	17.00	16.82
22	24-Feb-15	16.00	0.20	15.80	17.00	16.80
23	11-Mar-15	16.00	0.22	15.78	17.00	16.78
24	25-Mar-15	16.00	0.20	15.80	17.00	16.80
25	25-Jul-15	16.00	0.59	15.41	17.00	16.41
26	02-Set-15	16.00	0.42	15.58	17.00	16.58

UNIDAD DE OPERACIÓN “LAS DUNAS”

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETROS PZ-01A Y PZ-01B

ITEM	FECHA	Piezómetro 01 A					Piezómetro 01 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	26-Oct-13	25.30	13.25	12.05	89.00	75.75	16.20	13.40	2.80	89.00	75.60
2	12-Nov-13	25.30	13.20	12.10	89.00	75.80	16.20	13.30	2.90	89.00	75.70
3	05-Dic-13	25.30	13.20	12.10	89.00	75.80	16.20	9.00	7.20	89.00	80.00
4	05-Ene-14	25.30	13.25	12.05	89.00	75.75	16.20	13.25	2.95	89.00	75.75
5	25-Ene-14	25.30	13.30	12.00	89.00	75.70	16.20	13.20	3.00	89.00	75.80
6	10-Feb-14	25.30	13.30	12.00	89.00	75.70	16.20	13.30	2.90	89.00	75.70
7	01-Mar-14	25.30	13.40	11.90	89.00	75.60	16.20	13.40	2.80	89.00	75.60
8	20-Mar-14	25.30	13.40	11.90	89.00	75.60	16.20	13.40	2.80	89.00	75.60
9	08-Abr-14	25.30	13.40	11.90	89.00	75.60	16.20	13.40	2.80	89.00	75.60
10	28-May-14	25.30	13.43	11.87	89.00	75.57	16.20	13.43	2.77	89.00	75.57
11	03-Jul-14	25.30	13.30	12.00	89.00	75.70	16.20	13.43	2.77	89.00	75.57
12	06-Ago-14	25.30	13.25	12.05	89.00	75.75	16.20	13.25	2.95	89.00	75.75
13	13-Set-14	25.30	13.24	12.06	89.00	75.76	16.20	13.24	2.96	89.00	75.76
14	16-Oct-14	25.30	13.24	12.06	89.00	75.76	16.20	13.24	2.96	89.00	75.76
15	29-Oct-14	25.30	13.27	12.03	89.00	75.73	16.20	13.27	2.93	89.00	75.73
16	18-Nov-14	25.30	13.26	12.04	89.00	75.74	16.20	13.26	2.94	89.00	75.74
17	29-Nov-14	25.30	13.25	12.05	89.00	75.75	16.20	13.25	2.95	89.00	75.75
18	16-Dic-14	25.30	13.17	12.13	89.00	75.83	16.20	13.17	3.03	89.00	75.83
19	08-Ene-15	25.30	13.10	12.20	89.00	75.90	16.20	13.10	3.10	89.00	75.90
20	24-Ene-15	25.30	13.13	12.17	89.00	75.87	16.20	13.13	3.07	89.00	75.87
21	07-Feb-15	25.30	13.11	12.19	89.00	75.89	16.20	13.11	3.09	89.00	75.89
22	24-Feb-15	25.30	13.11	12.19	89.00	75.89	16.20	13.11	3.09	89.00	75.89
23	11-Mar-15	25.30	13.11	12.19	89.00	75.89	16.20	13.11	3.09	89.00	75.89
24	25-Mar-15	25.30	13.15	12.15	89.00	75.85	16.20	13.15	3.05	89.00	75.85
25	25-Jul-15	25.30	13.07	12.23	89.00	75.93	16.20	13.05	3.15	89.00	75.95
26	02-Set-15	25.30	13.07	12.23	89.00	75.93	16.20	13.07	3.13	89.00	75.93

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-02A Y PZ-02B (LAS DUNAS)

ITEM	FECHA	Piezómetro 02 A					Piezómetro 02 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	26-Oct-13	24.20	2.50	21.70	39.00	36.50	4.60	2.40	2.20	39.00	36.60
2	12-Nov-13	24.20	8.00	16.20	39.00	31.00	4.60	2.75	1.85	39.00	36.25
3	05-Dic-13	24.20	2.10	22.10	39.00	36.90	4.60	2.35	2.25	39.00	36.65
4	05-Ene-14	24.20	4.00	20.20	39.00	35.00	4.60	2.20	2.40	39.00	36.80
5	25-Ene-14	24.20	8.00	16.20	39.00	31.00	4.60	2.20	2.40	39.00	36.80
6	10-Feb-14	24.20	8.20	16.00	39.00	30.80	4.60	2.20	2.40	39.00	36.80
7	01-Mar-14	24.20	7.38	16.82	39.00	31.62	4.60	2.30	2.30	39.00	36.70
8	20-Mar-14	24.20	4.42	19.78	39.00	34.58	4.60	2.38	2.22	39.00	36.62
9	08-Abr-14	24.20	5.06	19.14	39.00	33.94	4.60	2.38	2.22	39.00	36.62
10	28-May-14	24.20	5.39	18.81	39.00	33.61	4.60	2.39	2.21	39.00	36.61
11	03-Jul-14	24.20	7.95	16.25	39.00	31.05	4.60	2.37	2.23	39.00	36.63
12	06-Ago-14	24.20	7.52	16.68	39.00	31.48	4.60	2.37	2.23	39.00	36.63
13	13-Set-14	24.20	4.53	19.67	39.00	34.47	4.60	2.39	2.21	39.00	36.61
14	16-Oct-14	24.20	5.11	19.09	39.00	33.89	4.60	2.41	2.19	39.00	36.59
15	29-Oct-14	24.20	7.73	16.47	39.00	31.27	4.60	2.37	2.23	39.00	36.63
16	18-Nov-14	24.20	8.26	15.94	39.00	30.74	4.60	2.42	2.18	39.00	36.58
17	29-Nov-14	24.20	5.46	18.74	39.00	33.54	4.60	2.42	2.18	39.00	36.58
18	16-Dic-14	24.20	8.29	15.91	39.00	30.71	4.60	2.37	2.23	39.00	36.63
19	08-Ene-15	24.20	8.21	15.99	39.00	30.79	4.60	2.36	2.24	39.00	36.64
20	24-Ene-15	24.20	2.27	21.93	39.00	36.73	4.60	2.36	2.24	39.00	36.64
21	07-Feb-15	24.20	8.03	16.17	39.00	30.97	4.60	2.36	2.24	39.00	36.64
22	24-Feb-15	24.20	8.03	16.17	39.00	30.97	4.60	2.36	2.24	39.00	36.64
23	11-Mar-15	24.20	8.25	15.95	39.00	30.75	4.60	2.34	2.26	39.00	36.66
24	25-Mar-15	24.20	8.23	15.97	39.00	30.77	4.60	2.37	2.23	39.00	36.63
25	25-Jul-15	24.20	7.76	16.44	39.00	31.24	4.60	2.35	2.25	39.00	36.65
26	02-Set-15	24.20	6.66	17.54	39.00	32.34	4.60	2.34	2.26	39.00	36.66

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-05 Y PZ-06 (LAS DUNAS)

ITEM	FECHA	Piezómetro 05					Piezómetro 06				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	26-Oct-13	4.00	1.25	2.75	95.00	93.75	4.65	2.00	2.65	53.00	51.00
2	12-Nov-13	4.00	1.35	2.65	95.00	93.65	4.65	2.00	2.65	53.00	51.00
3	05-Dic-13	4.00	1.35	2.65	95.00	93.65	4.65	2.00	2.65	53.00	51.00
4	05-Ene-14	4.00	0.90	3.10	95.00	94.10	4.65	1.85	2.80	53.00	51.15
5	25-Ene-14	4.00	0.90	3.10	95.00	94.10	4.65	2.00	2.65	53.00	51.00
6	10-Feb-14	4.00	1.00	3.00	95.00	94.00	4.65	2.03	2.62	53.00	50.97
7	01-Mar-14	4.00	1.07	2.93	95.00	93.93	4.65	2.05	2.60	53.00	50.95
8	20-Mar-14	4.00	0.83	3.17	95.00	94.17	4.65	2.05	2.60	53.00	50.95
9	08-Abr-14	4.00	1.20	2.80	95.00	93.80	4.65	2.05	2.60	53.00	50.95
10	28-May-14	4.00	1.18	2.82	95.00	93.82	4.65	2.07	2.58	53.00	50.93
11	03-Jul-14	4.00	1.10	2.90	95.00	93.90	4.65	2.09	2.56	53.00	50.91
12	06-Ago-14	4.00	1.15	2.85	95.00	93.85	4.65	2.10	2.55	53.00	50.90
13	13-Set-14	4.00	1.15	2.85	95.00	93.85	4.65	2.12	2.53	53.00	50.88
14	16-Oct-14	4.00	1.15	2.85	95.00	93.85	4.65	2.13	2.52	53.00	50.87
15	29-Oct-14	4.00	1.19	2.81	95.00	93.81	4.65	2.12	2.53	53.00	50.88
16	18-Nov-14	4.00	1.17	2.83	95.00	93.83	4.65	2.15	2.50	53.00	50.85
17	29-Nov-14	4.00	1.18	2.82	95.00	93.82	4.65	2.18	2.47	53.00	50.82
18	16-Dic-14	4.00	1.16	2.84	95.00	93.84	4.65	2.14	2.51	53.00	50.86
19	08-Ene-15	4.00	1.14	2.86	95.00	93.86	4.65	2.16	2.49	53.00	50.84
20	24-Ene-15	4.00	1.16	2.84	95.00	93.84	4.65	2.15	2.50	53.00	50.85
21	07-Feb-15	4.00	0.90	3.10	95.00	94.10	4.65	2.13	2.52	53.00	50.87
22	24-Feb-15	4.00	1.01	2.99	95.00	93.99	4.65	2.18	2.47	53.00	50.82
23	11-Mar-15	4.00	0.78	3.22	95.00	94.22	4.65	2.14	2.51	53.00	50.86
24	25-Mar-15	4.00	0.65	3.35	95.00	94.35	4.65	2.16	2.49	53.00	50.84
25	25-Jul-15	4.00	1.01	2.99	95.00	93.99	4.00	2.14	1.86	53.00	50.86
26	02-Set-15	4.00	1.10	2.90	95.00	93.90	4.00	2.16	1.84	53.00	50.84

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-09A Y PZ-09B (LAS DUNAS)

ITEM	FECHA	Piezómetro 09 A					Piezómetro 09 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	26-Oct-13	22.60	0.70	21.90	92.00	91.30	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
2	12-Nov-13	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
3	05-Dic-13	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
4	05-Ene-14	22.60	0.55	22.05	92.00	91.45	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
5	25-Ene-14	22.60	0.40	22.20	92.00	91.60	3.90	1.90	2.00	92.00	90.10
6	10-Feb-14	22.60	0.40	22.20	92.00	91.60	3.90	1.90	2.00	92.00	90.10
7	01-Mar-14	22.60	0.40	22.20	92.00	91.60	3.90	1.90	2.00	92.00	90.10
8	20-Mar-14	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	1.87	2.03	92.00	90.13
9	08-Abr-14	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	1.96	1.94	92.00	90.04
10	28-May-14	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	2.01	1.89	92.00	89.99
11	03-Jul-14	22.60	0.47	22.13	92.00	91.53	3.90	1.96	1.94	92.00	90.04
12	06-Ago-14	22.60	0.45	22.15	92.00	91.55	3.90	1.93	1.97	92.00	90.07
13	13-Set-14	22.60	0.55	22.05	92.00	91.45	3.90	1.98	1.92	92.00	90.02
14	16-Oct-14	22.60	0.47	22.13	92.00	91.53	3.90	1.96	1.94	92.00	90.04
15	29-Oct-14	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	1.96	1.94	92.00	90.04
16	18-Nov-14	22.60	0.49	22.11	92.00	91.51	3.90	1.98	1.92	92.00	90.02
17	29-Nov-14	22.60	0.53	22.07	92.00	91.47	3.90	1.98	1.92	92.00	90.02
18	16-Dic-14	22.60	0.54	22.06	92.00	91.46	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
19	08-Ene-15	22.60	0.54	22.06	92.00	91.46	3.90	1.83	2.07	92.00	90.17
20	24-Ene-15	22.60	0.48	22.12	92.00	91.52	3.90	1.96	1.94	92.00	90.04
21	07-Feb-15	22.60	0.38	22.22	92.00	91.62	3.90	1.82	2.08	92.00	90.18
22	24-Feb-15	22.60	0.52	22.08	92.00	91.48	3.90	2.03	1.87	92.00	89.97
23	11-Mar-15	22.60	0.49	22.11	92.00	91.51	3.90	1.71	2.19	92.00	90.29
24	25-Mar-15	22.60	0.46	22.14	92.00	91.54	3.90	1.67	2.23	92.00	90.33
25	25-Jul-15	22.60	0.45	22.15	92.00	91.55	3.90	2.00	1.90	92.00	90.00
26	02-Set-15	22.60	0.50	22.10	92.00	91.50	3.90	2.05	1.85	92.00	89.95

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-10A Y PZ-10B (LAS DUNAS)

ITEM	FECHA	Piezómetro 10 A					Piezómetro 10 B				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	26-Oct-13	12.65	1.15	11.50	75.00	73.85	3.95	1.15	2.80	75.00	73.85
2	12-Nov-13	12.65	1.35	11.30	75.00	73.65	3.95	1.35	2.60	75.00	73.65
3	05-Dic-13	12.65	1.35	11.30	75.00	73.65	3.95	1.35	2.60	75.00	73.65
4	05-Ene-14	12.65	1.30	11.35	75.00	73.70	3.95	1.30	2.65	75.00	73.70
5	25-Ene-14	12.65	1.35	11.30	75.00	73.65	3.95	1.35	2.60	75.00	73.65
6	10-Feb-14	12.65	1.37	11.28	75.00	73.63	3.95	1.37	2.58	75.00	73.63
7	01-Mar-14	12.65	1.35	11.30	75.00	73.65	3.95	1.35	2.60	75.00	73.65
8	20-Mar-14	12.65	1.52	11.13	75.00	73.48	3.95	1.52	2.43	75.00	73.48
9	08-Abr-14	12.65	1.67	10.98	75.00	73.33	3.95	1.67	2.28	75.00	73.33
10	28-May-14	12.65	1.72	10.93	75.00	73.28	3.95	1.72	2.23	75.00	73.28
11	03-Jul-14	12.65	1.75	10.90	75.00	73.25	3.95	1.75	2.20	75.00	73.25
12	06-Ago-14	12.65	1.94	10.71	75.00	73.06	3.95	1.94	2.01	75.00	73.06
13	13-Set-14	12.65	2.02	10.63	75.00	72.98	3.95	2.02	1.93	75.00	72.98
14	16-Oct-14	12.65	2.07	10.58	75.00	72.93	3.95	2.07	1.88	75.00	72.93
15	29-Oct-14	12.65	2.03	10.62	75.00	72.97	3.95	2.03	1.92	75.00	72.97
16	18-Nov-14	12.65	2.07	10.58	75.00	72.93	3.95	2.07	1.88	75.00	72.93
17	29-Nov-14	12.65	2.10	10.55	75.00	72.90	3.95	2.10	1.85	75.00	72.90
18	16-Dic-14	12.65	2.12	10.53	75.00	72.88	3.95	2.12	1.83	75.00	72.88
19	08-Ene-15	12.65	2.10	10.55	75.00	72.90	3.95	2.10	1.85	75.00	72.90
20	24-Ene-15	12.65	2.07	10.58	75.00	72.93	3.95	2.07	1.88	75.00	72.93
21	07-Feb-15	12.65	2.01	10.64	75.00	72.99	3.95	2.01	1.94	75.00	72.99
22	24-Feb-15	12.65	2.01	10.64	75.00	72.99	3.95	2.01	1.94	75.00	72.99
23	11-Mar-15	12.65	1.83	10.82	75.00	73.17	3.95	1.83	2.12	75.00	73.17
24	25-Mar-15	12.65	1.79	10.86	75.00	73.21	3.95	1.79	2.16	75.00	73.21
25	25-Jul-15	12.65	1.80	10.85	75.00	73.20	4.00	1.84	2.16	75.00	73.16
26	02-Set-15	12.65	1.63	11.02	75.00	73.37	4.00	1.63	2.37	75.00	73.37

UNIDAD DE OPERACIÓN "CRISTINA"

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETROS PZ-01 Y PZ-02

ITEM	FECHA	Piezómetro 1					Piezómetro 2				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	28-Abr-15	125.00	49.20	75.80	285.00	235.80	149.00	44.95	104.05	267.00	222.05
2	27-May-15	125.00	49.35	75.42	285.00	235.65	149.00	44.91	104.07	267.00	222.09
3	25-Jul-15	125.00	49.58	75.42	285.00	235.42	149.00	44.93	104.07	267.00	222.07

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETROS PZ-03 Y PZ-05

ITEM	FECHA	Piezómetro 3					Piezómetro 5				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	28-Abr-15	129.00	57.68	71.32	326.00	268.32	140.00	54.47	85.53	402.00	347.53
2	27-May-15	129.00	57.71	71.29	326.00	268.29	140.00	54.46	85.54	402.00	347.54
3	25-Jul-15	129.00	57.72	71.28	326.00	268.28	140.00	54.50	85.50	402.00	347.50

NIVEL FREÁTICO PIEZOMETROS PZ-06 Y PZ-07

ITEM	FECHA	Piezómetro 6					Piezómetro 7				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF	L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	28-Abr-15	142.00	56.42	85.58	342.00	285.58	129.00	93.44	35.56	576.00	482.56
2	27-May-15	142.00	56.42	85.58	342.00	285.58	129.00	93.99	35.01	576.00	482.01
3	25-Jul-15	142.00	56.28	85.72	342.00	285.72	129.00	94.79	34.21	576.00	481.21

NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETRO PZ-PP5-01

ITEM	FECHA	Piezómetro PP5-01				
		L.P	L.S	L.C.H	Cota	NF
1	28-Abr-15	129.00	69.45	59.55	279.00	209.55
2	27-May-15	129.00	69.61	59.39	279.00	209.39
3	25-Jul-15	129.00	70.10	58.90	279.00	208.90

Anexo 4: Resultados de análisis químico de agua

Abreviaturas: ECA: Estándar de Calidad Ambiental;

OD: Oxígeno disuelto.

UNIDAD DE OPERACIÓN "ATOCONGO" RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS MAYO DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	06/05/2014	09:57	7,45	23,5	8 015	3,96
	PZ-02	06/05/2014	11:00	7,46	22,3	3 046	2,35
	PZ-04	06/05/2014	12,29	12,34	22,7	7 018	3,85
	PZ-05	06/05/2014	14:45	8,16	21,9	10 067	5,16
	PZ-06	03/06/2014	08:50	7,58	23,7	1 998	6,32
	PZ-07	06/05/2014	15:33	8,17	22,6	4 085	4,36
	PZ-08	03/06/2014	10:10	7,53	24,2	2 023	6,45
	PZ-10	05/05/2014	12:00	7,69	24,0	2 250	3,0
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS OCTUBRE DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	30/10/2014	08:40	7,33	21,6	8 090	2,67
	PZ-02	30/10/2014	12:40	7,62	25,4	3 390	2,70
	PZ-04	30/10/2014	14:15	11,94	26,4	5 350	2,42
	PZ-05	30/10/2014	15:10	7,39	25,0	9 830	1,88
	PZ-06	31/10/2014	11:25	7,27	23,4	1 586	2,92
	PZ-07	30/10/2014	16:45	7,59	25,0	5 210	3,45
	PZ-08	31/10/2014	13:10	7,31	22,1	6 280	3,58
	PZ-10	31/10/2014	10:10	7,47	24,8	1 942	1,82
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS FEBRERO DE 2015

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	26/02/2015	09:10	6,29	26,1	7 610	2,63
	PZ-02	26/02/2015	10:55	7,69	25,3	3 330	2,10
	PZ-04	26/02/2015	11:45	8,76	25,6	4 540	4,02
	PZ-05	26/02/2015	10:25	7,47	24,5	10 040	2,62
	PZ-06	26/02/2015	16:25	7,06	25,8	1 611	2,98
	PZ-07	26/02/2015	12:20	7,78	25,8	4 800	3,11
	PZ-08	26/02/2015	10:10	7,94	25,9	5 790	3,45
	PZ-10	26/02/2015	14:56	6,89	27,0	1 963	2,12
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	145	124	119	313	261	264	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	1 351	124	119	601	261	264	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,236	3,5	1,4	0,371	2,3	1,8	NA
Carbonatos	mg/L	1	5 608	<1	1	2 441	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	275	1 385	1 322	237	611,6	613,3	100-700
Dureza total	mg/L	1	145	1 766	1 800	311	576	592	NA
Floruros	mg/L	0,008	<0,1	0,534	0,308	<0,1	0,796	0,475	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	<0,011	<0,011	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	405 648	0,02	0,04	587	0,02	<0,01	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,076	0,528	0,005	0,054	4,041	0,003	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,08	0,0030	<0,0002	0,07	0,0439	0,0010	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	1,185	0,09	0,10	7,235	0,07	0,18	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,02	<1	<1	6,01	4	<1	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	0,15	6 015	6 535	0,21	2 515	2 756	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	1	47	11	13	60	10	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	2 135	2 308	75,36	565,1	558,0	529,9	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	0,892	<0,002	<0,002	0,081	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	1,15	<0,002	<0,02	0,60	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	1,853	0,5160	0,2695	3,313	0,9783	0,7921	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,039	0,006	<0,006	<0,006	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0660	0,0315	0,0435	0,1014	0,1083	0,1165	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0451	0,0383	0,0369	0,0443	0,0264	0,0252	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	1,685	1,696	1,969	1,163	1,242	1,382	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	370,9	405,4	444,6	176,8	160,2	173,0	200
Cerio	mg/L	0,0044	0,0062	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0065	0,0029	<0,0028	0,0046	0,0086	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0165	0,0182	0,0114	0,0793	0,0441	0,0438	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0027	<0,0016	<0,0116	0,0071	0,0016	0,0031	NA
Estaño	mg/L	0,0138	0,0451	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	2,558	2,788	3,013	0,5551	0,5441	0,5724	NA
Hierro	mg/L	0,0083	3,046	1,928	0,7021	3,125	1,554	1,388	1
Litio	mg/L	0,002	0,020	0,026	0,022	0,024	0,029	0,023	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	38,24	38,49	43,14	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,466	0,441	0,309	0,310	0,202	0,190	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0182	0,0201	<0,0034	0,5232	0,5984	0,6357	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0184	0,0167	0,0071	0,0268	0,0256	0,0110	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,011	0,014	0,013	0,021	0,027	<0,004	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	19,09	20,27	20,64	90,973	10,36	11,45	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	12,24	9,825	11,11	19,31	15,91	17,24	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	425,3	504,5	602,7	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0285	0,0120	0,0039	0,0590	0,0468	0,0285	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0058	0,0027	0,0063	0,0288	0,0171	0,0162	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,1071	0,1137	0,0503	0,2128	0,1240	0,1298	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-04 Y PZ-05 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-04			PZ-05			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	1 039	795	642	731	215	184	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	393	<1	<1	2 716	215	184	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,218	1,3	0,6	0,199	7,1	9,0	NA
Carbonatos	mg/L	1	4 889	111	141	7 412	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	334	522,4	509,5	860	2 767	2 719	100-700
Dureza total	mg/L	1	<1	92	87	728	2 084	1 944	NA
Fluoruros	mg/L	0,008	<0,1	0,469	0,110	<0,1	0,560	0,058	1
Fosfatos	mg/L	0,011	669	<0,011	<0,011	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	595	0,01	0,01	409 654	0,08	0,03	NA
Nitratos	mg/L	0,001	<0,023	2,342	0,003	0,043	8,601	5,604	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,07	0,9814	0,0019	0,76	0,0017	0,5040	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	2,105	4,48	6,17	7,349	0,31	0,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,73	8	6	0,26	9	6	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	6,85	4 125	3 876	0,31	8 130	8 812	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	10	38	13	8	75	12	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	284,8	202,5	165,3	1 113	999,2	989,7	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-04 Y PZ-05 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-04			PZ-05			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	9,517	1,794	1,212	4,955	0,8172	0,5812	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,008	<0,006	<0,006	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0287	<0,0092	0,0432	0,0359	0,0267	0,0229	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,2580	0,1028	0,0820	0,0615	0,0393	0,0460	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	0,3135	0,2357	0,2323	1,971	1,999	2,514	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	232,4	50,47	34,55	599,5	469,1	570,8	200
Cerio	mg/L	0,0044	0,0077	<0,0044	<0,0044	0,0095	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0054	0,0130	<0,0028	0,0081	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,1147	0,0172	0,0030	0,0328	0,0177	0,0204	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0690	0,0308	<0,0016	0,0291	<0,0016	0,0027	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	6,832	4,236	3,551	2,604	2,548	3,014	NA
Hierro	mg/L	0,0083	7,152	0,7781	0,0825	3,468	0,8330	0,4355	1
Litio	mg/L	0,002	0,272	0,268	0,271	0,041	0,051	0,060	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	6,035	0,7006	0,1042	>50,00	>50,00	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,303	0,046	0,006	0,377	0,179	0,117	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,2885	0,3024	0,4420	0,0756	0,1067	0,1371	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0242	0,0084	<0,0046	0,0086	0,0273	0,0219	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,004	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,037	<0,004	0,007	0,022	<0,004	0,038	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	185,1	130,5	112,4	13,13	10,99	12,42	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,05	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	>20,00	15,51	>20,00	17,95	9,323	10,94	NA
Sodio	mg/L	0,0284	633,3	621,8	720,6	>1 000	>1 000	>1 000	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	0,0205	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,2046	0,0297	0,0022	0,0662	0,0261	0,0130	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0634	0,0334	0,0408	0,0127	0,0028	0,0066	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,1950	0,0708	0,0157	0,1322	0,0728	0,2972	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-06 Y PZ-07 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-06			PZ-07			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	173	177	165	959	147	160	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	298	177	165	788	147	160	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,104	0,7	0,8	0,316	3,0	2,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	960	<1	<1	3 335	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	16	305,2	319,9	1 756	963,4	895,3	100-700
Dureza total	mg/L	1	173	417	461	884	671	771	NA
Floruros	mg/L	0,008	0,7	0,290	0,209	<0,1	0,740	0,612	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,039	<0,011	48	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	437	0,01	0,05	1 791	0,01	0,01	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,05	0,0017	0,068	0,31	0,0220	4,188	10
Nitritos	mg/L	0,0002	1,298	0,06	0,026	7,909	0,11	0,0657	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	0,0076	<1	0,05	<0,01	14	0,14	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,12	1 120	<1	0,13	3 895	5	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	1	26	1 404	8	154	4 034	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	114,6	119,2	22	963,5	1 020	137	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	<0,002	<0,002	164,8	<0,002	<0,002	906,2	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,02	<0,002	<0,002	<0,02	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	173	177	<0,02	959	147	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-06 Y PZ-07 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-06			PZ-07			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,1745	0,5269	0,6385	11,21	3,030	2,385	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,007	<0,006	<0,006	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	<0,0092	<0,0092	0,0431	0,0194	0,0128	0,0145	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,1037	0,0874	0,0986	0,1100	0,0299	0,0454	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0006	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	0,3730	0,3424	0,3859	1,319	1,507	1,699	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,0016	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	129,3	120,2	136,2	661,2	214,3	257,2	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0153	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	0,0087	0,0060	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0029	0,0042	0,0049	0,0522	0,0184	0,0148	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0116	0,0918	0,0135	0,0104	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	0,6531	0,5993	0,6395	1,584	0,9017	1,101	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,1954	0,9501	1,458	9,139	4,366	2,235	1
Litio	mg/L	0,002	0,026	0,020	0,018	0,034	0,027	0,029	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	31,01	29,60	35,96	39,43	33,66	38,49	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,869	0,905	1,152	0,618	0,121	0,079	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,8302	1,184	0,9772	0,1128	0,1134	0,2238	NA
Niquel	mg/L	0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0046	0,0125	<0,0046	0,0203	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,004	0,001	<0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,013	<0,004	0,026	0,034	0,033	0,021	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	5,977	5,838	5,802	17,59	12,12	17,10	NA
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	10,96	10,50	12,40	>20,00	19,51	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	161,1	141,2	166,7	649,3	700,1	>1 000	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	0,0276	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0029	0,0194	0,0145	0,2597	0,1468	0,0777	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	<0,0018	<0,0018	0,0040	0,0239	0,0102	0,0152	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0157	0,0370	0,0333	0,2968	0,0719	0,1359	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-08 Y PZ-10 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-08			PZ-10			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	212	194	193	138	109	142	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	1 559	194	193	515	109	142	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,133	4,3	3,4	0,030	1,4	1,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	3 700	<1	<1	1 538	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	102	1 460	1 347	158	500,8	523,3	100-700
Dureza total	mg/L	1	212	1 588	1 648	138	417	416	NA
Floruros	mg/L	0,008	2,8	0,347	0,355	<0,1	0,072	0,046	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	<0,011	0,014	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	1 626	0,01	0,02	410 656	<0,01	0,15	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,03	0,0103	42,57	0,36	0,0040	0,075	10
Nitritos	mg/L	0,0002	35,67	0,05	0,1116	0,915	2,20	0,0006	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	0,2226	42	0,04	0,42	3	2,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,17	4 715	45	2,77	1 432	2	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	36	90	5 150	4	67	1 582	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	882,5	904,5	336	4,580	13,77	50	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	<0,002	<0,002	772,8	<0,002	<0,002	9,215	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,02	<0,002	<0,002	<0,02	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	212	194	<0,02	138	109	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-08 Y PZ-10 (ATOCONGO)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-08			PZ-10			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,1199	0,7213	7,142	1,987	0,5040	0,9498	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,031	<0,006	<0,006	0,037	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0335	0,0137	0,0265	0,0282	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0241	0,0289	0,0981	0,1213	0,0918	0,1258	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	19,115	1,620	2,137	0,4724	0,4019	0,5013	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	425,3	361,2	511,8	141,8	92,77	90,84	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0040	0,0151	0,0765	0,0412	0,0070	0,0168	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0072	<0,0016	0,0206	0,0060	<0,0016	<0,0016	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	20,928	1,791	2,352	0,6745	0,4516	0,4119	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,0380	1,244	9,043	15,99	25,60	13,34	1
Litio	mg/L	0,002	0,025	0,020	0,032	0,031	0,031	0,036	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	49,57	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,016	0,023	0,312	0,996	0,526	0,522	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,1175	0,0302	0,0319	0,0131	0,0193	0,0685	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0088	0,0091	0,0175	<0,0046	<0,0046	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,001	<0,001	0,003	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,031	<0,004	0,681	0,061	<0,004	0,033	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	18,98	16,78	24,53	17,65	13,26	16,70	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	>20,00	>20,00	>20,00	4,345	3,671	4,063	NA
Sodio	mg/L	0,0284	815,5	703,6	441,0	208,6	186,5	254,2	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	0,0154	<0,0151	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0013	0,0293	0,2603	0,0176	0,0193	0,0315	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0102	0,0152	0,0427	<0,0018	<0,0018	<0,0018	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0158	0,0347	0,4774	0,1505	0,0430	0,2022	2

UNIDAD DE OPERACIÓN "CONCHAN"

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS MAYO DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ – 01	31/05/2014	14:30	7,61	23,9	2 018	6,53
	PZ – 02	31/05/2014	15:50	7,59	22,8	1 974	6,37
	PZ – 03	31/05/2014	17:30	7,63	22,5	2 011	6,74
	PZ – 04	31/05/2014	08:50	7,58	23,7	1 998	6,32
	PZ – 05	31/05/2014	10:10	7,53	24,2	2 023	6,45
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS OCTUBRE DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ – 01	27/10/2014	11:00	8,14	26,9	17 540	5,96
	PZ – 02	27/10/2014	12:15	7,71	27,5	7 050	4,40
	PZ – 03	27/10/2014	13:25	7,75	27,9	23 800	4,82
	PZ – 04	27/10/2014	09:40	8,03	29,0	9 580	3,93
	PZ – 05	27/10/2014	08:30	7,77	27,9	17 030	6,25
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS FEBRERO DE 2015

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	27/02/2015	14:40	9,54	28,6	18 430	3,67
	PZ-02	27/02/2015	13:15	10,14	28,6	5 940	2,91
	PZ-03	27/02/2015	15:45	9,08	29,1	24 500	3,21
	PZ-04	27/02/2015	12:50	8,87	31,2	9 510	2,14
	PZ-05	27/02/2015	12:15	8,86	31,0	17 260	3,42
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

PARÁMETROS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 - CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	92	75	180	180	208	161	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	3 528	75	180	1 985	208	161	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,268	17,7	11,4	0,102	3,8	1,6	NA
Carbonatos	mg/L	1	5 870	<1	<1	3 438	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	101	5 982	5 861	202	1 865	1 697	100-700
Dureza total	mg/L	1	92	1 389	1 496	180	556	484	NA
Fluoruros	mg/L	0,008	0,5	0,332	0,235	0,6	0,037	0,034	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,017	<0,011	<1	0,027	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	910	0,01	0,02	640	<0,01	<0,01	NA
Nitratos	mg/L	0,001	<0,011	5,686	4,984	0,019	12,98	13,318	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,09	0,4838	0,0029	0,10	0,1064	<0,0002	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	2,614	1,10	0,44	16,70	0,30	0,04	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	1,360	7	5	0,0813	13	13	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	<0,02	13 592	15 002	0,60	5 121	4 376	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	4	150	143	17	233	283	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	810,6	1 473	1 552	521,7	556,5	491,0	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 - CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,8872	2,588	4,821	0,7332	0,5440	8,707	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,034	<0,006	<0,006	<0,006	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	<0,0092	0,0180	<0,0092	0,0130	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0525	0,0255	0,0414	0,0370	0,0283	0,1171	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	0,015	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,146	2,900	3,483	3,902	2,667	1,962	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	0,0039	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	194,3	179,5	166,0	140,2	100,7	108,8	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	<0,0028	0,0089	0,0080	<0,0028	0,0323	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0134	0,0271	0,0536	0,0166	0,0130	0,1103	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0106	0,0183	0,0486	0,0051	<0,0016	0,0755	NA
Estaño	mg/L	0,0138	0,0174	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	2,091	1,928	2,720	2,133	1,796	1,742	NA
Hierro	mg/L	0,0083	1,785	5,779	5,655	1,703	1,471	29,58	1
Litio	mg/L	0,002	0,058	0,068	0,054	0,045	0,032	0,032	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	46,84	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,091	0,141	0,136	0,094	0,071	0,492	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0534	0,0302	0,0363	0,0144	0,0182	0,0510	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0064	0,0089	0,0329	0,0069	0,0142	0,0383	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,001	0,003	0,05
Plomo	mg/L	0,004	<0,004	0,057	0,044	0,057	<0,004	0,017	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	48,04	115,2	76,04	11,92	9,047	20,55	NA
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	6,753	7,477	14,05	13,67	12,23	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	554,7	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	0,0261	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0140	0,0809	0,1738	0,0069	0,0088	0,2552	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0060	0,0029	0,0192	0,0040	0,0039	0,0293	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0661	0,0400	0,1470	0,0446	0,0265	0,1038	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-03 Y PZ-04 - CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-03			PZ-04			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	150	110	120	109	115	124	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	3 609	110	120	546	115	124	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,216	29,3	10,6	0,274	6,9	3,6	NA
Carbonatos	mg/L	1	5 400	<1	<1	4 300	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	43	8 330	6 135	74	2 914	2 759	100-700
Dureza total	mg/L	1	150	2 600	2 521	109	417	500	NA
Floruros	mg/L	0,008	0,5	0,314	0,154	0,7	0,365	0,086	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,027	<0,011	<1	0,027	0,015	1
Fosforo total	mg/L	0,01	1 073	<0,01	<0,01	361	<0,01	<0,01	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,046	7,152	3,622	0,068	6,437	7,441	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,09	0,3891	0,0141	0,18	0,1267	0,0027	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	7,040	0,11	<0,02	2,548	0,13	<0,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	1,895	8	4	0,3789	7	8	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	0,36	18 669	19 919	0,29	7 337	5 707	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	9	8	9	3	228	347	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	854,6	1 956	1 413	297,8	899,2	959,2	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-03 Y PZ-04 - CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-03			PZ-04			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,3698	0,0919	0,1721	0,5831	4,100	5,328	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,022	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	0,0109	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0361	0,0164	0,0207	0,0354	0,0506	0,0935	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,928	3,506	3,969	1,963	1,525	1,616	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,0021	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	182,2	217,0	173,5	91,84	54,87	46,17	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0054	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0023	<0,0014	0,0034	0,0103	0,0094	0,0226	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0026	0,0054	0,0071	0,0026	0,0114	0,0273	NA
Estaño	mg/L	0,0138	0,0251	<0,0138	<0,0138	0,0482	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	1,957	2,969	3,611	1,284	1,473	1,839	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,5581	0,1052	0,1830	0,6115	6,272	9,471	1
Litio	mg/L	0,002	0,065	0,093	0,060	0,049	0,040	0,031	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	45,04	>50,00	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,053	0,024	0,029	0,069	0,152	0,165	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0314	0,0219	0,0382	0,0184	0,0209	0,0259	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0093	0,0080	0,0179	<0,0046	<0,0046	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,033	<0,004	0,018	0,034	0,009	<0,004	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	67,58	181,9	99,44	17,60	10,75	6,533	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	11,08	5,918	8,033	9,975	13,20	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	870,2	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0072	<0,0009	0,0028	0,0050	0,1050	0,1856	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0066	0,0044	0,0081	0,0121	0,0149	0,0441	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0426	0,0096	0,0520	0,0439	0,0442	0,0498	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EL PZ-05 – CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-05			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	154	115	126	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	2 726	115	126	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,321	17,1	8,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	6 458	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	123	5 392	5 192	100-700
Dureza total	mg/L	1	154	1 469	1 120	NA
Fluoruros	mg/L	0,008	0,5	0,354	0,089	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,022	0,013	1
Fosforo total	mg/L	0,01	1 093	<0,01	<0,01	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,037	8,670	9,002	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,29	0,1656	0,0075	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	5,162	0,07	<0,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,5474	9	9	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	0,32	13 376	10 506	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	6	34	75	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	1 394	1 876	1 948	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EL PZ-05 – CONCHAN

Parámetros	Unidad	LD	PZ-05			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,8148	0,2261	1,457	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,014	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0449	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0384	0,0225	0,0468	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,824	2,523	2,819	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	0,0042	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	168,8	141,7	119,2	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0042	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0126	0,0022	0,0137	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0024	0,0037	0,0127	NA
Estaño	mg/L	0,0138	0,0631	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	2,365	24,376	2,916	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,7793	0,4349	2,987	1
Litio	mg/L	0,002	0,067	0,058	0,040	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,081	0,023	0,067	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0112	0,0193	0,0270	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0182	<0,0046	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	0,003	0,003	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,064	0,015	0,036	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	35,27	41,48	23,32	NA
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	0,03	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	10,01	6,385	10,40	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	0,0239	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0170	0,0043	0,0435	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0093	0,0064	0,0124	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0674	0,0124	0,0369	2

UNIDAD DE OPERACIÓN "LAS HIENAS"

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS JUNIO DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	01/06/2014	07:30	7,77	24,1	2 025	5,76
	PZ-02	01/06/2014	10:00	7,73	26,6	2 017	4,08
	PZ-03	01/06/2014	11:45	7,63	26,0	2 006	4,32
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS OCTUBRE DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	27/10/2014	05:10	7,80	24,4	6 830	6,17
	PZ-02	28/10/2014	08:20	7,58	23,6	8 070	4,75
	PZ-03	28/10/2015	10:05	7,61	24,1	2 035	5,04
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS FEBRERO DE 2015

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	27/02/2015	18:10	9,27	25,9	8 530	4,54
	PZ-02	27/02/2015	18:50	9,56	25,4	7 620	2,84
	PZ-05	28/02/2015	08:10	8,82	24,7	1 966	2,07
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

**PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02
LAS HIENAS**

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	197	220	192	439	327	327	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	2 406	220	192	1 915	327	327	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,734	0,1	1,1	0,359	0,1	1,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	5 400	<1	<1	4 170	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	90	1 906	1 846	309	1 691	1 650	100-700
Dureza total	mg/L	1	197	892	960	439	1 161	1 060	NA
Fluoruros	mg/L	0,008	0,7	0,781	0,248	0,6	0,310	0,154	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,063	0,024	<1	<0,011	0,022	1
Fosforo total	mg/L	0,01	1 009	0,035	0,04	1 371	0,10	0,11	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,092	0,713	0,345	<0,011	1,440	0,046	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,40	0,0020	0,0146	1,08	0,0020	0,0085	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	0,694	0,31	0,59	2,940	0,11	1,59	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,5984	1	1	1,726	2	2	NA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2	1,93	5 545	5 884	2,21	6 120	6 188	NA
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2	3	375,0	54	7	39	42	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	778,9	745,0	703,1	1 512	1 326	1 223	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	10,97	0,05

**PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02
LAS HIENAS**

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,2379	4,813	0,5257	1,825	0,6262	0,3642	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,020	<0,006	<0,006	0,010	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0405	<0,0092	<0,0092	0,0312	0,0139	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0395	0,3582	0,0544	0,0794	0,0850	0,0673	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	0,012	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,441	2,084	2,221	3,573	2,848	2,873	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,0020	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	184,1	139,0	135,3	361,5	238,1	194,7	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0080	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0041	<0,0028	0,0097	<0,0028	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0059	0,0384	0,0083	0,0406	0,0197	0,0060	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	<0,0016	0,0050	0,0020	0,0100	<0,0016	0,0066	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	0,0290	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	2,214	1,435	2,111	3,253	2,496	2,691	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,1324	9,519	1,776	5,030	1,834	1,046	1
Litio	mg/L	0,002	0,103	0,083	0,072	0,213	0,182	0,143	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	2,310	1,050	1,987	2,245	0,581	1,009	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0098	0,0106	0,0077	0,0098	0,0112	0,0044	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0070	0,0360	0,0105	0,0261	0,0120	0,0275	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,025	0,182	0,063	0,057	0,065	0,059	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	88,90	65,94	58,32	170,9	141,4	99,64	NA
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	14,39	>20,00	14,66	19,12	14,10	17,19	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	763,5	>1 000	>1 000	687,8	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	0,0283	<0,0151	<0,0151	0,0509	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0023	0,1081	0,0195	0,0023	0,0201	0,0145	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	<0,0018	0,0100	<0,0018	0,0110	0,0024	0,0065	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,1697	0,2545	0,0946	0,0719	0,0739	0,0702	2

**PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN EL PZ-03
LAS HIENAS**

Parámetros	Unidad	LD	PZ-03			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	229	219	209	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	466	219	209	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,247	0,1	0,2	NA
Carbonatos	mg/L	1	1 200	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	77	314,7	374,8	100-700
Dureza total	mg/L	1	229	643	520	NA
Floruros	mg/L	0,008	0,6	0,162	0,031	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	719	0,03	0,14	NA
Nitratos	mg/L	0,001	<0,011	0,898	0,003	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,14	0,0492	0,4241	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	1,114	0,88	0,83	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,0455	2	1	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	1,10	1 460	1 587	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	2	54	90	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	329,6	143,7	434,1	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	0,165	0,164	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	0,018	0,94	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN EL PZ-03 (LAS HIENAS)

Parámetros	Unidad	LD	PZ-03			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,4816	0,4616	0,4562	5
Antimonio	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	0,018	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0476	0,0491	0,0493	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	0,008	0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	0,7203	0,6257	0,6134	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	0,0020	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	222,0	188,6	145,9	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	<0,0014	0,0014	0,0051	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	1,627	1,435	1,371	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,4106	0,8580	0,6431	1
Litio	mg/L	0,002	0,051	0,043	0,032	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	43,21	36,40	34,94	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,090	0,079	0,076	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	<0,0034	<0,0034	<0,0034	NA
Niquel	mg/L	0,0046	<0,0046	<0,0046	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,032	<0,004	0,036	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	16,91	14,50	10,91	NA
Selenio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	>20,00	18,72	18,87	NA
Sodio	mg/L	0,0284	181,5	156,9	107,0	200
Talio	mg/L	0,0151	<0,0151	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0036	0,0158	0,0143	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0032	0,0018	<0,0018	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0153	0,0680	0,0522	2

UNIDAD DE OPERACIÓN "LAS DUNAS"

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS JUNIO DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	02/06/2014	08:45	7,55	24,1	1 998	7,23
	PZ-02	02/06/2014	10:30	7,35	24,9	2 127	5,78
	PZ-05	01/06/2014	15:10	7,48	24,7	2 107	6,30
	PZ-06	02/06/2014	11:25	7,24	24,7	2 036	7,32
	PZ-09	01/06/2014	16:30	7,49	22,9	2 092	6,27
	PZ-10	02/06/2014	07:25	7,19	23,2	1 844	5,53
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS OCTUBRE DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	28/10/2014	16:55	7,44	27,1	20 340	5,22
	PZ-02	29/10/2014	07:30	6,96	23,4	2 328	5,54
	PZ-05	28/10/2014	12:30	7,18	25,5	25 900	4,28
	PZ-06	29/10/2014	09:20	6,97	23,4	3 640	3,64
	PZ-09	28/10/2014	14:30	7,36	25,4	8 030	4,45
	PZ-10	28/10/2014	15:45	7,36	26,9	11 930	6,41
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS OCTUBRE DE 2014

Tipo de Producto	Estación	Fecha	Hora	pH Unid pH	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	OD mg/L
Agua Subterránea	PZ-01	28/02/2015	11.5	9,28	29,5	20 100	3,80
	PZ-02	28/02/2015	12:30	9,13	28,9	2 320	2,44
	PZ-05	28/02/2015	11:10	8,32	26,6	24 500	2,48
	PZ-06	28/02/2015	13:00	9,17	26,8	54 600	3,40
	PZ-09	28/02/2015	14:05	9,43	27,1	8 190	2,05
	PZ-10	28/02/2015	13:35	9,12	27,9	10 590	3,84
ECA				6,5-8,5	NA	<2 000	≥4

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	112	107	112	241	308	291	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	5 914	107	112	9 082	308	291	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,039	0,1	<0,1	0,221	0,1	<0,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	8 700	<1	<1	16 543	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	236	6 123	5 996	1 170	480,2	495,9	100-700
Dureza total	mg/L	1	112	2 719	2 150	241	158	198	NA
Floruros	mg/L	0,008	<0,1	0,106	0,012	<0,1	0,267	0,035	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	0,014	0,013	<1	0,032	0,046	1
Fosforo total	mg/L	0,01	3 239	0,20	0,22	4 392	0,01	0,24	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,397	11,16	8,530	2,084	0,596	0,182	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,24	0,0020	0,0033	2,06	0,4073	0,6981	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	8,846	0,05	<0,02	0,471	0,105	2,37	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,0002	12	9	0,0002	2	3	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	<0,02	17 040	16 590	0,02	1 736	1 904	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	9	418	134	<1	238	155	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	2 850	2 695	2 706	1 786	82,812	167,0	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,065	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	10,97	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-01 Y PZ-02 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-01			PZ-02			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,6578	1,665	2,133	20,14	3,000	4,610	5
Antimonio	mg/L	0,006	0,007	<0,006	<0,006	0,017	<0,006	0,012	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	0,0849	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0725	0,0820	0,1030	0,3124	0,1096	0,1409	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0009	<0,0003	0,0004	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,042	<0,008	<0,008	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,514	2,265	2,265	2,947	1,959	1,249	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	0,0095	0,0087	0,0087	0,0362	0,0108	0,0030	0,005
Calcio	mg/L	0,046	>1 000	724,3	724,3	>1 000	965.7	56.64	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	0,0072	0,0072	0,0201	0,0044	0,0131	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0086	<0,0028	<0,0028	0,0170	<0,0028	0,0056	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0564	0,1037	0,1347	0,0525	0,0126	0,0231	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0069	0,0091	0,0118	0,0246	0,0024	0,0019	NA
Estaño	mg/L	0,0138	0,0363	0,0301	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	7,583	6,148	7,246	>10,00	0,4208	0,5139	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,5469	2,181	3,544	20,70	4,025	7,813	1
Litio	mg/L	0,002	0,132	0,112	0,080	0,410	0,096	0,086	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	61,49	50,31	>50,00	>50,00	9,425	12,42	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,085	0,258	0,278	0,580	0,114	0,196	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0165	0,0204	0,0257	0,0453	0,0073	0,0117	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0067	0,0105	<0,0046	0,0325	0,0120	0,0132	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,012	0,014	0,014	0,007	0,003	<0,001	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,040	<0,004	0,028	0,095	<0,004	0,021	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	39,44	33,04	20,18	113,0	24,16	20,81	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,10	0,04	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	14,05	12,90	18,01	>20,00	>20,00	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	386,6	257,4	200
Talio	mg/L	0,0151	0,1032	<0,0151	0,0217	0,0723	<0,0151	0,0194	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0016	0,0198	0,0242	0,7305	0,0475	0,0263	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0272	0,0307	0,0308	0,0737	0,0059	0,0101	NA
Zinc	mg/L	0,0075	0,0126	0,0650	0,0290	0,1464	0,0541	0,0673	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-05 Y PZ-06 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-05			PZ-06			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	125	97	101	139	132	132	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	6 736	97	101	22 153	132	132	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,009	0,1	0,1	0,081	0,1	0,5	NA
Carbonatos	mg/L	1	16 900	<1	<1	26 450	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	5	8 313	7 993	16	21 077	20 511	100-700
Dureza total	mg/L	1	125	3 272	2 651	139	5 377	5 101	NA
Floruros	mg/L	0,008	<0,1	0,021	0,816	<0,1	0,182	0,320	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	<0,011	0,088	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	2 166	0,02	0,03	5 822	0,03	0,05	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,011	11,83	9,243	0,050	0,696	0,057	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,04	0,0113	0,0459	0,04	0,0077	0,0236	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	7,622	0,16	0,02	0,439	0,06	<0,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,0022	12	9	0,0113	<1	<1	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	0,06	22 200	20 484	0,39	49 385	46 464	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	8	86	33	<1	103	39	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	4 694	2 808	2846	3 332	3 258	3 191	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-05 Y PZ-06 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-05			PZ-06			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,1196	0,3513	0,2963	0,2602	0,2759	0,3274	5
Antimonio	mg/L	0,006	0,017	<0,006	0,051	0,029	<0,006	0,029	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0187	<0,0092	<0,0092	0,0387	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0330	0,0408	0,0550	0,0450	0,0320	0,0465	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	0,015	<0,008	0,008	<0,008	<0,008	0,011	NA
Boro	mg/L	0,0016	3,838	2,632	3,059	6,835	4,695	5,961	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	0,0022	<0,0015	0,0025	0,1736	0,0033	0,1300	0,005
Calcio	mg/L	0,046	799,3	49,96	778,8	>1 000	>1 000	>1 000	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0065	<0,0044	<0,0044	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	0,0136	0,0047	0,0035	0,0036	0,0028	0,0099	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0033	0,0146	0,0174	0,0157	0,0195	0,0225	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	0,0055	0,0089	0,0138	0,0076	0,0038	0,0089	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	7,789	10,70	>10,00	>10,00	>10,00	>10,00	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,0784	0,5472	0,6431	0,1600	0,2096	0,3608	1
Litio	mg/L	0,002	0,132	0,171	0,116	0,669	0,476	0,294	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	49,52	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	>50,00	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,003	0,023	0,046	2,409	1,756	2,436	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0126	<0,0034	0,0051	0,1489	0,1093	0,2064	NA
Niquel	mg/L	0,0046	<0,0046	<0,0046	0,0177	0,0237	0,0107	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,011	0,018	0,015	0,018	0,015	0,022	0,05
Plomo	mg/L	0,004	<0,004	<0,004	0,016	0,073	<0,004	0,030	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	44,70	47,69	26,56	207,9	150,3	81,43	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,06	0,07	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	NA
Silicio	mg/L	0,0202	15,09	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	>1 000	200
Talio	mg/L	0,0151	0,0403	<0,0151	0,0298	0,1034	<0,0151	<0,0151	NA
Titanio	mg/L	0,0009	<0,0009	0,0066	0,0065	<0,0009	0,0010	0,0037	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0177	0,0154	0,0175	0,0500	0,0340	0,0458	NA
Zinc	mg/L	0,0075	<0,0075	0,0576	0,0497	0,0283	0,0397	0,0158	2

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-09 Y PZ-10 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-09			PZ-10			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	1	352	340	324	233	269	250	NA
Bicarbonatos	mg/L	1	1 303	340	324	2 897	269	250	370
Bromuros	mg/L	0,1	0,023	0,1	<0,1	0,039	0,1	<0,1	NA
Carbonatos	mg/L	1	4 200	<1	<1	6 858	<1	<1	5
Cloruros	mg/L	0,015	66	1 114	1 124	17	2 215	1 789	100-700
Dureza total	mg/L	1	352	1 032	990	233	1 246	712	NA
Floruros	mg/L	0,008	<0,1	0,070	0,360	<0,1	0,120	0,122	1
Fosfatos	mg/L	0,011	<1	<0,011	0,024	<1	<0,011	<0,011	1
Fosforo total	mg/L	0,01	1 272	<0,01	0,14	1 967	0,01	0,16	NA
Nitratos	mg/L	0,001	0,150	0,492	0,224	0,054	2,982	2,603	10
Nitritos	mg/L	0,0002	0,15	0,0093	0,0063	0,06	0,0010	0,0047	0,06
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,02	0,497	0,09	<0,02	4,847	0,06	<0,02	NA
Nitrógeno total	mg/L	1	0,0096	<1	<1	0,0340	3	3	NA
Solidos disueltos totales	mg/L	2	<0,02	6 060	6 738	0,26	9 960	7 826	NA
Solidos suspendidos totales	mg/L	2	<1	49	45	5	71	81	NA
Sulfatos	mg/L	0,015	2 761	2 617	2 550	3 450	3 519	3 211	300
Sulfuros de hidrógeno	mgS=/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	NA
Sulfuros	mg/L	0,02	<0,002	<0,02	<0,02	<0,002	<0,02	<0,02	0,05

PARÁMETROS DE METALES PESADOS EN LOS PZ-09 Y PZ-10 - LAS DUNAS

Parámetros	Unidad	LD	PZ-09			PZ-10			ECA
			MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	MAYO	OCTUBRE	FEBRERO	
Aluminio	mg/L	0,0169	0,3560	0,6030	0,7426	0,1850	0,4427	1,867	5
Antimonio	mg/L	0,006	0,013	<0,006	0,029	0,032	<0,006	<0,006	NA
Arsénico	mg/L	0,0092	0,0264	<0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	<0,0092	0,05
Bario	mg/L	0,0013	0,0197	0,0169	0,0225	0,0269	0,0210	0,0419	0,7
Berilio	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	NA
Bismuto	mg/L	0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,023	<0,008	0,012	NA
Boro	mg/L	0,0016	2,138	1,845	1,971	2,268	2,080	2,022	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,0015	<0,0015	0,1238	<0,0015	0,0027	<0,0015	<0,0015	0,005
Calcio	mg/L	0,046	390,4	>1 000	322,9	695,8	344,1	223,3	200
Cerio	mg/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0052	NA
Cobalto	mg/L	0,0028	<0,0028	0,0028	<0,0028	<0,0028	0,0062	<0,0028	0,05
Cobre	mg/L	0,0014	0,0141	0,0174	0,0181	0,0040	0,0087	0,0230	0,2
Cromo	mg/L	0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	0,0086	NA
Estaño	mg/L	0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	<0,0138	NA
Estroncio	mg/L	0,0012	2,506	2,264	2,967	4,515	3,066	2,646	NA
Hierro	mg/L	0,0083	0,2481	0,0667	1,022	0,1190	0,5259	2,909	1
Litio	mg/L	0,002	0,094	0,093	0,074	0,109	0,090	0,056	2,5
Magnesio	mg/L	0,0134	27,43	25,00	31,48	46,56	30,59	27,95	150
Manganeso	mg/L	0,001	0,038	0,042	0,172	0,027	0,062	0,215	0,2
Molibdeno	mg/L	0,0034	0,0737	0,0808	0,0934	0,0402	0,0268	0,1434	NA
Niquel	mg/L	0,0046	0,0150	<0,0046	0,0151	0,0195	<0,0046	<0,0046	0,2
Plata	mg/L	0,001	0,001	0,006	0,002	0,003	0,004	0,004	0,05
Plomo	mg/L	0,004	0,025	<0,004	0,013	<0,004	<0,004	0,011	0,05
Potasio	mg/L	0,0296	19,58	18,26	13,23	30,14	24,04	13,89	NA
Selenio	mg/L	0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,03	NA
Silicio	mg/L	0,0202	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	NA
Sodio	mg/L	0,0284	>1 000	>1 000	769,8	>1 000	>1 000	>1 000	200
Talio	mg/L	0,0151	0,0726	<0,0151	0,0452	0,0576	<0,0151	0,0177	NA
Titanio	mg/L	0,0009	0,0048	0,0208	0,0286	<0,0009	0,0090	0,0710	NA
Vanadio	mg/L	0,0018	0,0197	0,0181	0,0209	0,0219	0,0231	0,0293	NA
Zinc	mg/L	0,0075	<0,0075	0,0296	0,0139	<0,0075	0,113	0,223	2