



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES
DE INGENIERÍA**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIA DE LA TIERRA

ESPECIALIZACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA

**Hidrofísica para definir zonas de mayor permeabilidad para la
recarga de una zona del acuífero Cuautitlán-Pachuca**

TESINA

Que para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN AGUA SUBTERRÁNEA

PRESENTA: Miriam Gómez Luna

TUTOR: Ing. Francisco Alejandro Arroyo Carrasco

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Marzo 2024



**Especialización
en Agua
Subterránea**

Facultad de Ingeniería UNAM





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que me apoyaron durante el desarrollo de este trabajo, especialmente a mi asesor el Ing. Francisco Alejandro Arroyo Carrasco quien estuvo siempre pendiente en revisiones, dudas y facilitar los medios para lograrlo.

A mi familia quienes me brindaron todo lo necesario para continuar con esta etapa, son un gran ejemplo por su esfuerzo diario, sus logros y apoyar a otros. Mis amigos, quienes me han apoyado de diferentes maneras, con su motivación, compañía y me han compartido sus perspectivas e información. Este programa me dio la oportunidad de conocer buenos colegas y profesores con una disposición y conocimientos admirables.

A Rodrigo Garduño con quien comparto camino, por su apoyo, palabras de ánimo, cariño y su ejemplo de perseverancia.

A las personas que hacen que la UNAM continúe siendo un lugar de desarrollo profesional y haya aportes importantes a la sociedad por un mundo sostenible y habitable para todos los seres vivos.

Los datos utilizados en el presente trabajo se obtuvieron de los informes “Estudio de pruebas de recarga continua y su monitoreo, bajo diferentes cargas hidráulicas, en pozos piloto de recarga profunda, asociados a la recarga artificial con agua residual tratada al acuífero Cuautitlán-Pachuca” realizado por Goevaluaciones y Perforaciones S.A, de C.V. los cuales se reprocesan para agregar algunas ideas adicionales que permitan sustentar con más información para el proyecto.

Contenido

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción | 6 |
| Objetivo | 9 |
| Alcances | 9 |
| Generalidades del sitio | 10 |
| Localización | 10 |
| Clima | 11 |
| Geología | 11 |
| Datos y Métodos | 12 |
| Transitorio electromagnético | 12 |
| Perforación de pozos y descripción litológica | 14 |
| Hidrogeología, análisis de base de datos de pozos | 15 |
| Registro de pozos, análisis de parámetros petrofísicos con Ley de Archie | 17 |
| Parámetros hidrogeológicos y pruebas de permeabilidad | 19 |
| Análisis hidrogeoquímicos y cálculo de índices de saturación | 21 |
| Conclusión y recomendaciones | 26 |
| Bibliografía | 28 |
| <i>ANEXOS</i> | 30 |

Resumen

Ante las problemáticas sobre el uso del agua por la cantidad de personas que habitan el mundo y su estilo de vida han surgido diversas propuestas y alternativas para la solución de estas. Es importante tomar en cuenta no solo las vidas humanas sino también las otras formas de vida animal y vegetal, pues no sólo las personas necesitan el agua. En el presente trabajo se desarrolla una metodología para evaluar la factibilidad de llevar a cabo una recarga gestionada, esta se aplicó en la zona central norte del Estado de México y norte de la Ciudad de México con el objetivo de plantear una posible solución ante algunas problemáticas de abastecimiento, calidad y equilibrio de los niveles en el agua subterránea. Se realizó la reinterpretación de datos obtenidos de varios estudios geológicos, hidrogeológicos e hidrogeofísicos, como transitorio electromagnético, registros geofísicos en pozos, pruebas de productividad-permeabilidad de dos pozos piloto y análisis de la calidad de agua.

Dentro de las innovaciones de la exploración y análisis se plantea la obtención de la porosidad a partir de la Ley de Archie, aprovechando la información de la resistividad que proporcionan los registros geofísicos de pozos. Con los datos se evaluó la viabilidad de llevar a cabo un proyecto de recarga gestionada en el sitio.

De acuerdo con los resultados se concluyó que además de que el proyecto es viable en la zona puede ser idóneo ya que la zona podría tratarse de un parteaguas natural entre tres acuíferos de acuerdo con lo obtenido en la red de flujo, lo que favorecería la recarga de agua subterránea en tres puntos importantes de la zona conurbada estudiada. Con el cálculo aproximado del tiempo de recorrido del agua subterránea permite sensibilizarse ante la importancia de llevar a cabo este tipo de proyectos lo antes posible, ya que además en los próximos años además estaremos enfrentando las consecuencias del cambio climático, algunas o varias problemáticas que podrían presentarse son: desabasto, subsidencia, contaminación de acuíferos, disminución de la recarga natural, alteración de ecosistemas, entre otras.

Abstract

Due to the water problems caused by the overpopulation and lifestyle, several proposals and alternatives have emerged to solve them. Not only human lives matter but plant and animal life need water to survive. In the present study a methodology is developed to evaluate the feasibility of applying managed aquifer recharge, this was applied in the northern central area of the State of Mexico and north of Mexico City with the objective of been an answer to some problems in the area about supply, quality, and balance of levels in groundwater. A reinterpretation of data obtained from geological, hydrological and hydrogeophysical studies was carried out, such as transient electromagnetic method, well logs, productivity-permeability tests into pilot wells and water quality analysis.

Among the innovations related to exploration and analysis, obtaining the porosity applying archie's law, enable take advantage of information obtained from well logs. With all data the feasibility of a project of managed aquifer recharge was assessed to be applied in the area.

According to the results, it was concluded that the project is feasible, and the conditions are particular at the site, providing mobility to the water injected since there is an underground watershed boundary by three aquifers according to the groundwater flow from the potentiometric map constructed, this allows to provide water to three important zone in Mexico City. With the approximate time calculated for groundwater velocity, allow be aware about implementing as soon as possible this type of project, because in addition to a growing population and development of societies seem base in production and consumption, human will be facing climate change consequences, some of the problems could be shortage of water, low water quality, biodiversity losses, diminishing of natural recharge of aquifers, among others.

Introducción

El agua es esencial para la vida, sin embargo, quienes viven en zonas donde este recurso es abastecido de manera regular y de calidad aceptable suelen presentar poca sensibilidad a la importancia de este recurso. Las problemáticas con relación al recurso se hacen presentes de diversas maneras. En el mundo el agua se presenta con diferentes concentraciones salinas, la que nos ocupa en este escrito es el agua dulce, que representa el 3% de volumen total de agua, 35 millones de km³(Arreguín Cortés et al., 2017). El 30% de esta agua se encuentra en acuíferos que son almacenamientos subterráneos y principales fuentes de abastecimiento. Estos son la base del desarrollo de los principales centros de población en México, pues son menos susceptibles a la contaminación y tienen mayor relevancia en zonas de topografía elevada y en zonas áridas y semiáridas (cerca de 50% del área del territorio nacional son zonas áridas y semiáridas). Esta agua se reparte en diferentes sectores, aproximadamente, el 76% en agricultura, el 9% en la industria y el 15% en abastecimiento urbano.

En los últimos años se ha advertido sobre el uso no sostenible del agua subterránea y las afectaciones que provoca. Los acuíferos reciben el agua de la infiltración de cuerpos superficiales y de la lluvia, al mismo tiempo también brindan agua a ríos, lagos, lagunas, manantiales y humedales. El ser humano ha afectado el ciclo hidrológico de diversas maneras, los tiempos de la humanidad son diferentes al ciclo del agua, lo que ha provocado un desequilibrio.

En 2010 la ONU declara al agua como un Derecho Humano (ONU, 2015) y en la Cumbre de 2015 plantea 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), donde el objetivo sexto “Agua limpia y saneamiento” marca que se debe garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y saneamiento para todos. Para ello se deben realizar actividades que permitan contribuir al mantenimiento de los ecosistemas y asegurar el acceso al agua a largo plazo. El agua se utiliza para producir alimentos, servicios, productos, energía, para el desarrollo de las sociedades y para la vida de todos los seres que habitan el mundo (Naciones Unidas, 2015). Ante esta manifestación, México creó un Programa Nacional Hídrico (PNH), el cual contempla la actualización de la disponibilidad de agua subterránea, ajustar concesiones, actualizar decretos de veda, reservas y zonas reglamentadas, regular zonas de libre alumbramiento, mejorar la gestión, realizar acciones para incrementar la recarga de acuíferos, reforzar sistemas de mediciones y verificación, mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos (Arreguín Cortés et al., 2017).

La Ciudad de México y zona conurbada no es la excepción a estas problemáticas. Para efectos administrativos México se divide en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) y para el agua subterránea en 653 acuíferos, en la RHA No. 13 que incluye la Ciudad de México y zonas conurbadas, se reporta que es la que cuenta con la menor área, pero es de las que presentan las mayores poblaciones, (Data México, 2023) hay 26.2 millones entre la Ciudad de México y Estado de México para el año 2020. Con la información estadística proporcionada de la Base de Datos del REPDA del Organismo de Cuenca del Valle de México el volumen de agua total concesionado de aguas nacionales es de 4,324,398,616 m³ de agua al año de acuerdo con la información proporcionada al 31 de diciembre de 2022, en 2018 se estimaba que 3,401,000,000 m³ eran agua renovable (CONAPO (2012), INEGI (2017), CONAGUA (2018)), en la misma Base de Datos mencionada anteriormente

para el volumen total de agua concesionada, se reporta un volumen concesionado de descarga de aguas residuales de 2,197,928,571 m³ al año.

De acuerdo con el *World Resources Institute* México ocupa el lugar 24 en estrés hídrico alto, en donde los datos promediados arrojan ese sitio, sin embargo, algunas zonas del país se encuentran sometidas a un estrés hídrico extremo, tal como es el caso de la Ciudad de México, con un índice del 4.9, este indica que podría llegar al “Día Cero” en 2028, implicando que el suministro de agua libre termine y comience a ser racionado (María Gabriela Salido Magos, 2021). Hasta este momento el agua renovable per cápita es de 143 m³-habitante por año (CONAGUA, 2019).

Otra problemática son las aguas residuales, que antes de 1900 eran vertidas directamente a los ríos, acrecentando inundaciones en época de lluvias por el crecimiento y desbordamiento de estos y contaminación, por lo que en ese año se comenzó con el entubamiento de los ríos; hoy en día se cuenta con una red de tubería de 14,090 km (CONAGUA, 2021), además, la sobreexplotación de agua ha provocado un hundimiento del terreno que llega a ser de entre 8 a 35 cm por año dependiendo la zona en la Ciudad de México y Estado de México (INEGI, 2021), por lo que el desalojo del agua residual y de precipitación ya no es por gravedad, teniendo que emplear alrededor de 102 plantas de bombeo en pasos a desnivel (CONAGUA, 2021). El sistema no solo desaloja el agua proveniente de la ciudad sino también de los municipios de Tlalnepantla, Naucalpan, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco (CONAGUA, 2021). Este hundimiento provoca también afectaciones a la infraestructura urbana que incluye al sistema de drenaje, causando roturas que generan fugas, contaminando los acuíferos, afectaciones a la salud, al ambiente y altas erogaciones económicas¹ (Fondo para la comunicación y la educación ambiental, 2018).

Ante estas problemáticas existen diferentes soluciones para reducir o resarcir las afectaciones. Una de ellas es el Manejo de Recarga de Acuíferos a través del control eficiente de las aguas superficiales y el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, se ha implementado en diversas partes del mundo, con el fin de reducir la subsidencia del suelo, restauración de los niveles de agua en el subsuelo, prevención de la intrusión marina, asegurar el abastecimiento del recurso por largo plazo y reusar el agua residual disminuyendo la existencia de estas evitando el deterioro de la calidad de agua en acuíferos y el daño a los ecosistemas (Arreguín Cortés et al., 2017).

Se plantea la siguiente metodología para implementar un proceso de recarga (Figura 1).

1. Revisión de información: Identificar necesidades, análisis de información disponible y marco legal con el fin de proponer los estudios necesarios para caracterizar el sitio.
2. Actualizar información hidrológica, geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica, mediante la aplicación de estudios indirectos y directos.
3. Plantear propuestas y precisar acciones que permitan definir los proyectos de infiltración

¹ Se trata aproximadamente sólo 50% de aguas municipales y cerca del 30% de las no municipales. En 2015 se utilizaron 57 403 millones de pesos que equivalen al 0.3% del producto interno bruto en resarcir los daños causados por las aguas residuales además de causar la muerte de alrededor de 3 mil personas por enfermedades intestinales. La Cuenca del Valle de México cuenta con 63 plantas potabilizadoras y 26 Plantas de tratamiento de aguas residuales, pero también interviene la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco, aún con todas ellas el 40% del agua utilizada queda sin tratamiento.

4. Realizar pruebas de infiltración para comprobar las condiciones físicas del medio y definir el diseño de construcción de la o las obras a realizar
5. Construir infraestructura y plantear acciones de monitoreo y seguimiento que permitan implementar las acciones de infiltración.

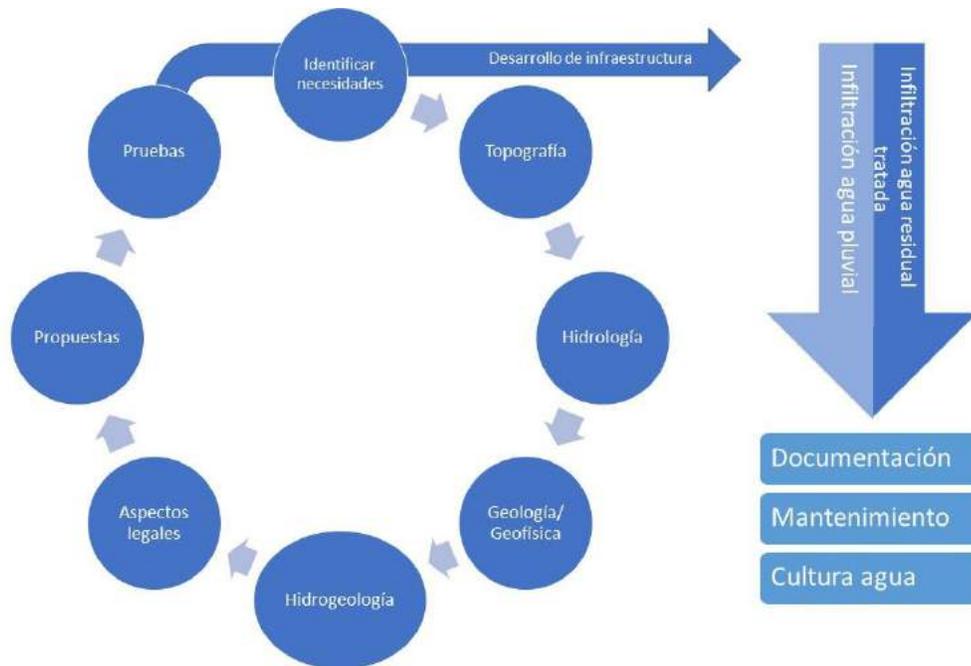


Figura 1 Diagrama de la metodología para implementación de un proceso de recarga

Como una herramienta de apoyo y decisión muy importante, para llevar a cabo proyectos de recarga es la aplicación de la exploración geofísica que tiene la bondad de no ser invasivo, cubrir mayores áreas y en menor tiempo de exploración con relación a la exploración directa mediante pozos, estimando parámetros físicos de las rocas o medio geológico en 2 o 3 dimensiones.

Experiencias sobre el tema, son por ejemplo, (Uhlemann et al., 2022) quienes realizaron un estudio para optimizar el manejo de recarga de acuíferos utilizando estudios geofísicos 3D para caracterizar la zona, a través de tomografía de resistividad eléctrica, inducción electromagnética y medidas directas de conductividad hidráulica, estableciendo primero relaciones petrofísicas entre la conductividad hidráulica y la resistividad del subsuelo para posteriormente conocer la distribución de la conductividad hidráulica en las lagunas de infiltración que analizaron, logrando incrementar los valores de volumen de infiltración.

(Rieder y Kneisel, 2023) aplicaron la técnica de tomografía de resistividad eléctrica en diferentes periodos de tiempo en una zona en el bosque al norte de Bavaria, obteniendo una mayor cantidad de información que la obtenida por estaciones puntuales antes usadas, lo que permitió caracterizar la dinámica de la humedad del subsuelo, así como diferenciar los materiales a diferentes profundidades. De esta manera se pudieron hacer relaciones con las características del suelo y la vitalidad de los árboles en él.

Con ambos estudios se pueden establecer relaciones con la geofísica para entender el comportamiento del agua en el subsuelo mediante estudios de resistividad eléctrica, con ello

establecer zonas óptimas para llevar a cabo infiltración, además utilizando la relación de Archie, se puede establecer una relación entre la conductividad (resistividad) eléctrica y el contenido volumétrico del agua.

La zona de estudio abarca la alcaldía Gustavo A. Madero (Ciudad de México), y los municipios de Ecatepec, Tlalnepantla de Baz y Atenco (Estado de México), esta zona presenta una oportunidad natural favorable para llevar a cabo este tipo de proyecto. Por su topografía, esta zona es de menor elevación con respecto a sus alrededores, en donde tiempo atrás los escurrimientos naturales se acumulaban. Estas condiciones favorecen la existencia de una fuente de agua para infiltración. En cuanto a las condiciones geológicas, si bien existe un espesor considerable de material aluvial impermeable a semi permeable, debajo de este se presentan rocas que tienen buena porosidad, además, por el comportamiento hidrogeológico, en la zona se identifica un parteaguas de tres acuíferos (Texcoco, Cuautitlán-Pachuca, Zona Metropolitana de la Ciudad de México) lo que favorece las condiciones para el flujo de agua subterránea. En cuanto al acuífero de Cuautitlán-Pachuca en este se ubica una batería de pozos que abastecen de manera importante a la Ciudad de México, por lo que su recarga es clave para reducir el abatimiento de los niveles piezométricos y asegurar que el recurso llegará en cantidad y calidad y por ello no es necesario construir además infraestructura para conducir el agua infiltrada a quienes lo demandan, evitando erogaciones extraordinarias.

El presente trabajo, es también una contribución importante para el cumplimiento de los ODS y el PNH, en donde se intenta interpretar los datos de exploraciones geofísicas como una herramienta sustantiva de apoyo para el proyecto de infiltración y recarga de acuífero, comprendiendo inicialmente su funcionamiento hidrogeológico. Finalmente, cabe destacar que en caso de utilizarse agua residual tratada para infiltración al acuífero se reduciría la contaminación del agua superficial, subterránea y del ambiente, hecho además factible ya que cerca de esta zona se encuentran los túneles emisores que conducen el agua residual de la ciudad.

Objetivo

1. Realizar una caracterización hidrogeológica mediante estudios hidrogeofísicos, hidrogeoquímicos, de una zona entre el límite de la Ciudad de México y Estado de México para determinar la factibilidad y beneficios de la recarga de acuíferos y contribuir a la solución de las problemáticas hídricas existentes
2. Analizar datos geofísicos, geológicos, geoquímicos e hidrogeológicos, para establecer correlaciones que determinen parámetros hidráulicos para la identificación de zonas y volúmenes de agua para infiltración en subsuelo y recarga de acuíferos, asegurando una recarga eficiente y un manejo sostenible del recurso
3. Proponer una metodología para el manejo de recarga de acuíferos o sitios donde la infiltración sea más favorable

Alcances

Complementar el sustento técnico con reinterpretación de datos geofísicos e hidrogeológicos la factibilidad del proyecto de recarga y la importancia de realizarse en la zona delimitada entre Ciudad de México y Estado de México, con la finalidad de contribuir a la solución de las problemáticas

hídricas dentro del marco establecido con el Programa Nacional Hídrico y el Programa Internacional de las Naciones Unidas en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible

Generalidades del sitio

Localización

Se delimitó un área como se muestra en la **Figura 2**, en la parte central norte del Estado de México y norte de la Ciudad de México, se encuentra en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y en la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, que se caracteriza por estar formada por sierra volcánica de laderas escarpadas con diversos eventos volcánicos y presentar cuencas cerradas de buena permeabilidad (INEGI, 1986).

Se encuentra en una planicie limitada por altos topográficos, Cerro Chiconautla, Sierra de Guadalupe y Sierra de Santa Catarina

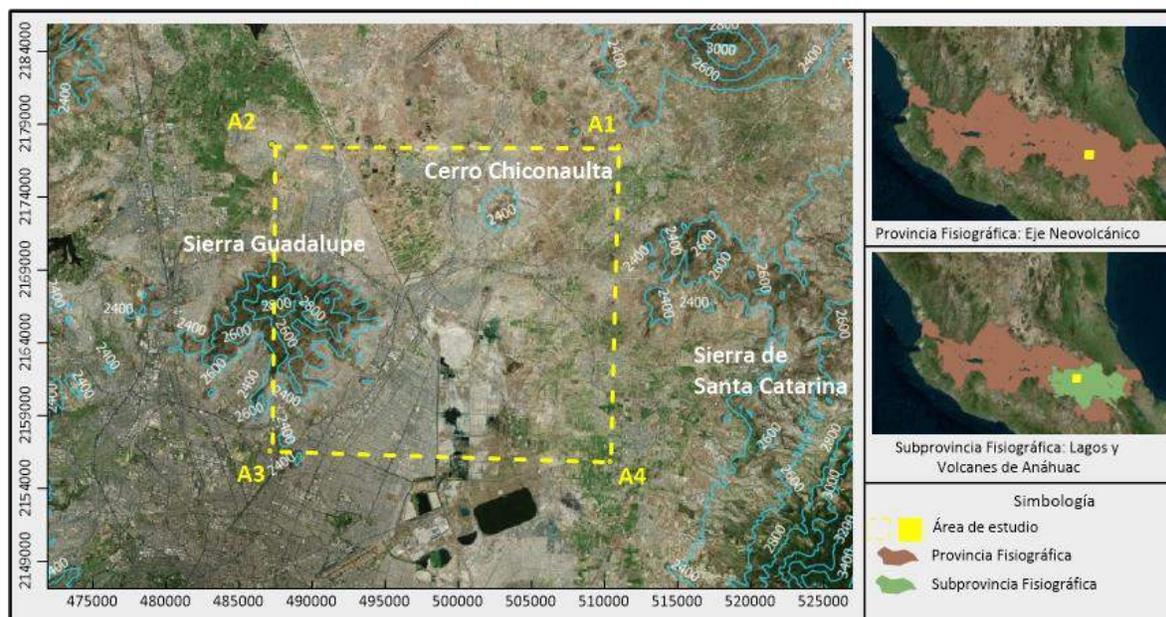


Figura 2. Área de estudio

En la **Tabla 1** se indican las coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) del área de estudio que se localiza en la zona 14Q

Tabla 1. Coordenadas de los límites del área

| ID | X | Y |
|----|--------|----------|
| A1 | 510919 | 21774883 |
| A2 | 487230 | 2177597 |
| A3 | 487093 | 2156597 |
| A4 | 510337 | 2155877 |

Clima

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en el área se encuentran en operación las estaciones climatológicas: Chiconautla 15022, Acolman 15263, Gran Canal KM27+250 15041, La Grande 15044, Atenco 15008 y San Andres 15083. Derivado del análisis de los datos de las estaciones (**Anexo I**), se determinó utilizar un valor anual promedio de 517 mm. El área es de aproximadamente 502km², obteniendo un volumen promedio de precipitación de 259 mil millones de m³. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2016), se estima que el 72 % de las precipitaciones en México se evapotranspira, el 21% escurre; un porcentaje se va al drenaje y aproximadamente el 6.3% alcanza el acuífero; este valor es una aproximación que depende de la condición en superficie del área, la geología en la que interviene la porosidad, la permeabilidad, la disposición de los estratos, el espesor, pero también, cubierta vegetal, humedad del suelo, presencia de sustancias coloidales, entre otros.

Geología

La cuenca del Valle de México ha tenido procesos de vulcanismo que han generado cuencas que a su vez propiciaron la generación de lagos. Los eventos volcánicos han tenido lugar durante los últimos 20.1 Ma y aún continúan desarrollándose, se han presentado lavas, piroclastos, cenizas, brechas, lahares, depósitos fluviales, aluviales, estos últimos producto de la erosión de las emersiones de material surgidas que han llegado a tener hasta un espesor de 3000m, estos se han generado por zonas de debilitamiento identificando cinco sistemas de fallas. Se destacan tres eventos importantes en la formación de lagos en la Cuenca de México (**Tabla 2**) (Mooser H., 2018).

Tabla 2. Descripción general de formación de lagos en la Cuenca de México

| | | |
|-------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuaternario | Holoceno | (3) Crecimiento Sierra Chichinautzin, cerrándola por segunda vez, generándose arcillas blandas desde Xochimilco hasta Huehuetoca. |
| | Pleistoceno | |
| Terciario | Plioceno | (2) Cerca de Tula, erupciones cierran la cuenca al norte, favoreciendo formaciones de gran espesor de arcillas. (Arcillas lacustres Taxhimay 50 a 100m de espesor) |
| | Mioceno | (1) Generación de cantidades grandes de lavas y lahares del Tepozteco, cierran la cuenca al sur. |
| | Oligoceno | |
| | Eoceno | |
| | Paleoceno | |

La sierra de Guadalupe está conformada por domos y varios estratovolcanes, así como flujos piroclásticos y de lavas, avalanchas y lahares. Las rocas son andesitas, riolitas y dacitas, rocas intermedias, se presentan sistemas de fallas y fracturas en toda la Sierra identificándose direcciones N-S, NE-SW y E-W, siendo las últimas el sistema más joven. Los deslizamientos generados en esta zona se muestran con mayor frecuencia hacia Ecatepec y Tlalnepantla (García-Palomo et al., 2006; Lugo-Hubp y Salinas-Montes, 1996). Mooser H., (2018) reportan el sistema de fallas Tláloc-Apan con orientación SW-NE y el Sistema Tarasco-Acambay-Zumpango WNW-ESE y además, mencionan que han generado debilitamientos, facilitando el movimiento del agua en el subsuelo.

Si bien existe información de pozos muy profundos, más de 2,000 m, a partir de la perforación del pozo Tezonco en el 2012 por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, ubicado al centro oriente de la Ciudad de México, se realizaron las primeras descripciones litológicas con fines hidrogeológicos, describiendo cinco unidades hidrogeológicas, la unidad que abastece a la Ciudad de México en esta zona, fue la segunda unidad, que se encontró entre los 70 y 500 m de

profundidad, en materiales granulares y rocas volcánicas fracturas; la primera unidad son depósitos lacustres con 70 m de espesor pertenecientes al antiguo lago de Texcoco; las otras tres unidades se componen de ignimbritas, lavas, rocas volcánicas fracturadas e intercalaciones de sedimentos lacustres entre estas. (Morales-Casique et al., 2014).

(Carranza-Edwards, 2018) realizaron un estudio de correlación litológica para los primeros 100 m de profundidad, utilizando cinco perforaciones en las inmediaciones de El Caracol a diferentes profundidades, mínima 26 máxima 60 m, con el fin de identificar capas productoras de salmueras, se encontró que la variación de productividad era por cambios de facies y no por fallas, existen variaciones importantes hacia los límites del lago mientras que estas variaciones se reducen hacia el centro, las variaciones consisten en intercalaciones de paquetes arcillosos, arenas, limos, arenas limosas y horizontes volcánicos. Las capas más permeables se describen como capas duras, ya que, al ser saturados por salmueras, los hacen propensos a subsidencia y fracturamiento, además estas se encuentran dentro de cuerpos altamente compresibles, generando subsidencia y finalmente, las capas con contenido alto de humedad propician corrosión en la zona.

Datos y Métodos

Se realizó una reinterpretación con el procesamiento de algunos de los datos obtenidos en los estudios realizados por CIGSA (2011) y Geoevaluaciones y Perforaciones (2012), que incluyen dos perforaciones de pozos, realizadas por esta última, uno de 255 m y otro a 300 m de profundidad en diciembre de 2011 y febrero 2012 respectivamente. En los pozos se implementaron registros geofísicos de pozo, pruebas de permeabilidad y pruebas de recarga; así mismo, realizaron estudios geofísicos en superficie con el método conocido como transitorio electromagnético, muestreos de agua en los pozos y modelación hidrogeoquímica.

Transitorio electromagnético

Para la implementación de los estudios transitorios electromagnéticos se utilizaron bobinas cuadradas de 300x300m en superficie alcanzando una profundidad de 650 m aproximadamente. En este trabajo se analizaron siete sondeos que tienen una disposición SW-NE, esto para una perspectiva general de la zona. En la **Figura 3** se muestra la ubicación de los sondeos a partir de los que se realizó la reinterpretación de datos. Christiansen et al., (2009) y Wangsness, (2001), ofrecen una descripción detallada del método aplicado.

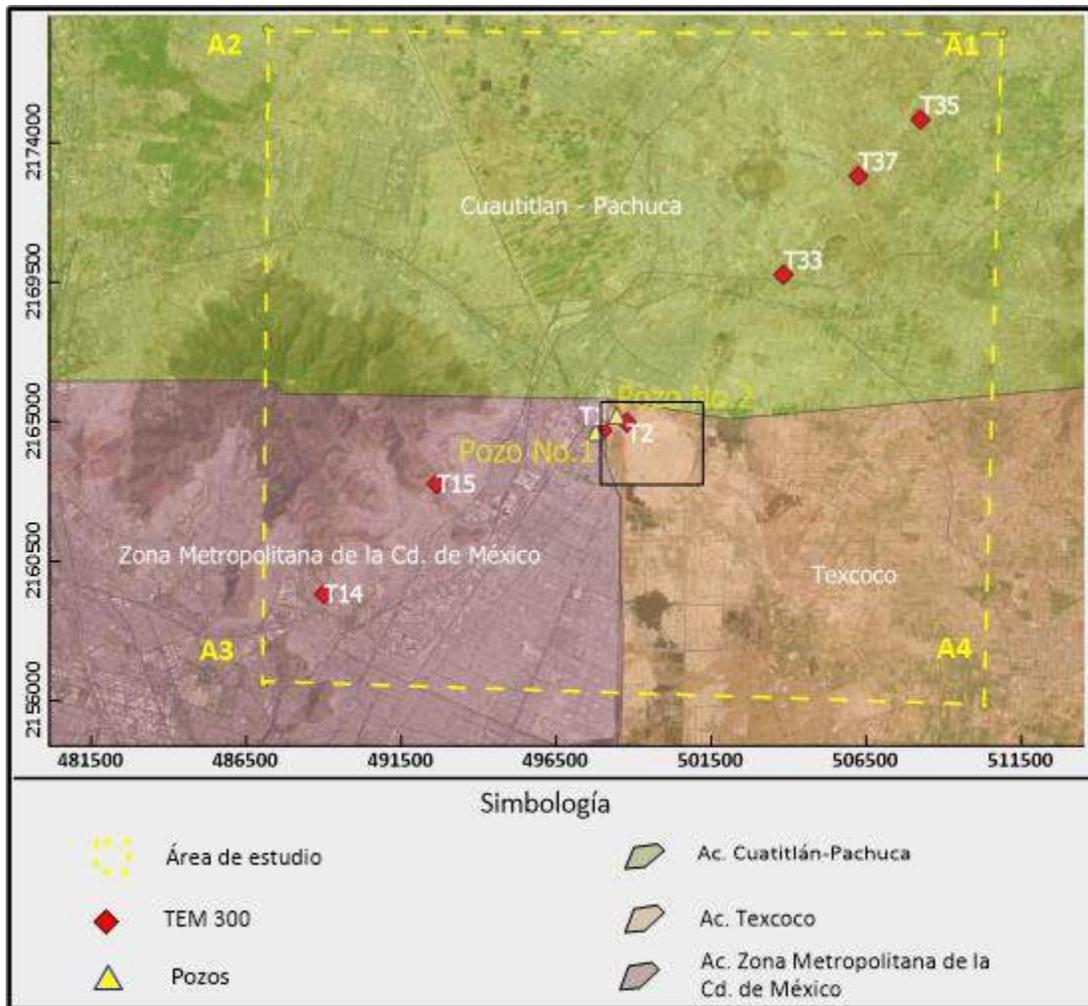


Figura 3. Ubicaciones de los estudios transitorios electromagnéticos (TEM) y pozos

Para el procesamiento e inversión de datos se utilizó el software WingLink (GEOSYSTEM SRL) en el cual se generó un perfil geoelectrico con los sondeos identificados como TEM14, TEM15, TEM1, TEM 2, TEM 33, TEM37 y TEM 35, como se muestra en la **Figura 4**

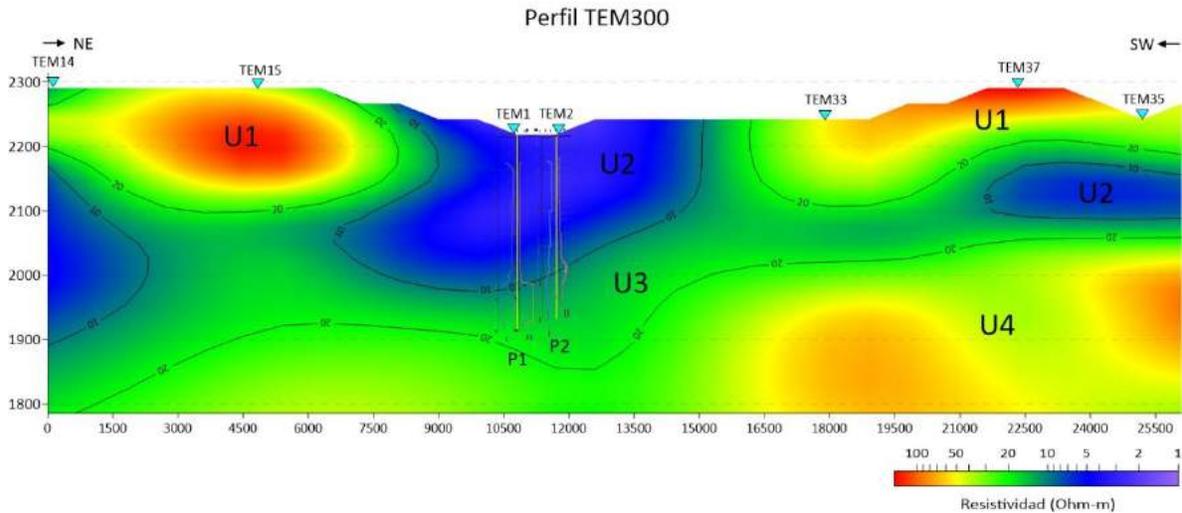


Figura 4. Perfil geoelectrico con bobina de 300x300m. Elaboración propia

Se observa en el perfil geoelectrico, las ubicaciones en superficie donde se colocaron las bobinas, la ubicación de los pozos perforados y la respuesta a profundidad de los registros de resistividad de onda larga y corta, realizados en cada uno de los pozos.

En la Figura 4 se identificaron cuatro unidades geoelectricas, la unidad uno (U1) presenta rango de resistividades de 50 a 150 ohm-m, esta se encuentra en dos porciones del perfil, iniciando desde la superficie a 100 m de profundidad aproximadamente, la porción de la izquierda inicia su longitud en el metro cero hasta los 7,500 m y la segunda porción de esta unidad, inicia su longitud cerca de los 16,500m hasta el final del perfil 25,500 m. La unidad dos (U2) con rango de resistividad de los 3 a los 10 ohm-m se encuentra de forma irregular a lo largo del perfil, siendo la parte central donde se encuentra cubriendo mayor área, su longitud abarca de entre los 7,500 a los 15,000 m de SW a NE encontrándose desde la superficie hasta casi los 200m de profundidad y en los extremos, en el izquierdo a partir de los 100 m de profundidad y hasta los 400 m, con una longitud iniciando de los cero metros hasta los 1,500 m aproximadamente y en el extremo derecho en forma de ovalo alargado desde los 100m hasta los 200m de profundidad con una extensión desde los 21,000 hasta los 25,500 m aproximadamente. La unidad tres (U3) presenta rango de resistividad de 50 a los 15 ohm-m, se encuentra de forma continua en el perfil de izquierda a derecha, desde los 120 m en su parte más superficial hasta los 400 m en su parte de mayor profundidad disminuyendo hacia la derecha hasta encontrarse a 300 m de profundidad aproximadamente, tiene un espesor aproximado de 100 m en su parte más ancha y de 30 m aproximadamente en su parte más angosta. La última unidad, la unidad cuatro (U4) con rango de resistividad de 20 a 80 ohm-m, se encuentra en la base del perfil con profundidades variadas, pero también de forma continua, a profundidad mayor a 400 m en el flanco izquierdo y mayor a 350 m de profundidad en el flanco derecho.

Perforación de pozos y descripción litológica

Durante la perforación del pozo 1 de 300 m se reportó que para los primeros 100 m se encontró material arcilloso, se colocó contraademe de acero; después de esta profundidad se reportan depósitos de arenas finas con intercalaciones de gravas y limos, con permeabilidad de media a baja hasta los 215 m, a esta profundidad inician depósitos de arenas con intercalaciones de gravas, limos

y arcillas de permeabilidad media a baja, hasta los 227 m aproximadamente, después de esta profundidad se hallan rocas volcánicas, de permeabilidad media a alta de los 227 a los 290 m y debajo material granular hasta los 300 m.

En la perforación 2, si se tiene información desde los primeros metros, estas capas coinciden con lo reportado por (Carranza-Edwards, 2018), hasta los 190 m se reportan intercalaciones de depósitos arcillosos con intercalaciones de arenas y depósitos de arenas finas con intercalaciones de gravas y limos con permeabilidades bajas y medias, así como algunos horizontes de depósito de arenas y gravas con alta permeabilidad, subyaciendo estas intercalaciones se encuentran depósitos de arena con contenidos de gravas, limos y arcillas con permeabilidad media y agua de mejor calidad que la que se encuentra en horizontes sobreyacientes. La perforación finaliza reportando un horizonte de depósito de arenas finas con intercalaciones de gravas y limos, con permeabilidad media y agua también de mejor calidad.

Hidrogeología, análisis de base de datos de pozos

De acuerdo con lo investigado por Consultores de Ingeniería Geofísica (2011) en la zona hay cerca de 500 pozos, como se muestra en la Figura 5. A partir del censo realizado se observó que varios de estos pozos se encuentran en desuso, obstruidos o no se permite el acceso, por lo que no fue posible realizar mediciones en estos ni conocer más que su ubicación. Para la construcción de la red de flujo se realizó un primer análisis con los datos, descartando aquellos datos de pozos donde no fue posible conocer la profundidad de estos, así como los que no contaban con suficiente información de las mediciones de nivel piezométrico y que no pertenecían al mismo año 2011.

Como paso siguiente, se acotó un área de 5km de radio (círculo amarillo de la Figura 5), con los datos de los pozos restantes se realizó una comparación bivariada de los parámetros profundidad de pozo y nivel piezométrico entre los pozos, identificando datos con comportamiento muy diferente al grupo que también fueron descartados por no ser representativos del horizonte determinado para estudio, entre 100 m y 180 m de profundidad.

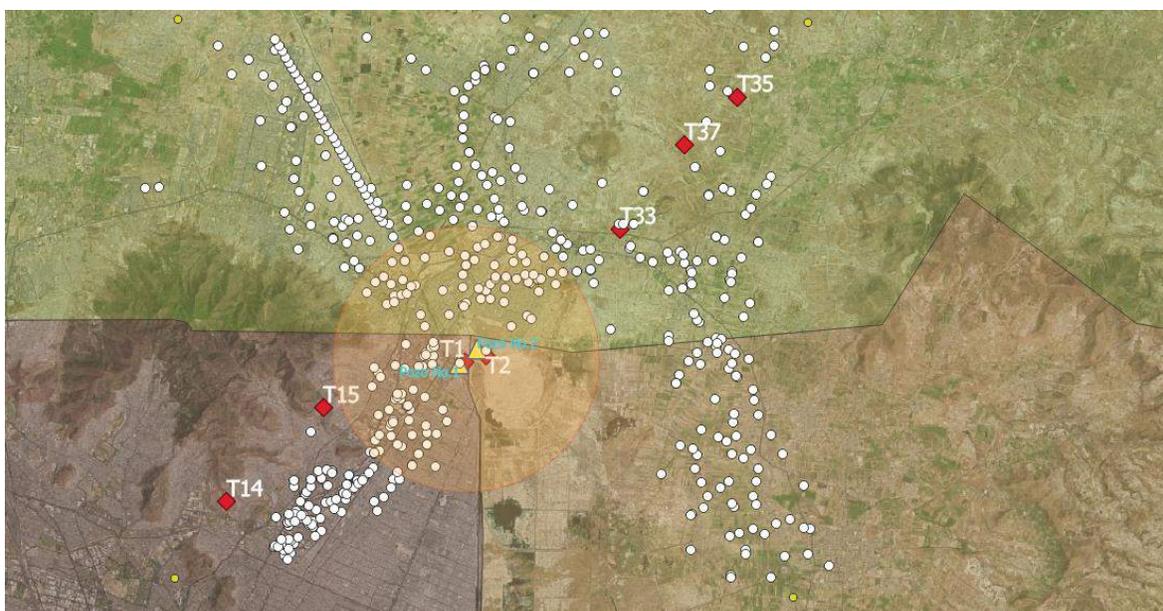


Figura 5. Ubicación de los pozos localizados encontrados durante el censo de 2011 y 2012.

Por último, con los datos restantes de 87 pozos se generó una representación gráfica de las isolíneas de elevación del nivel piezométrico Figura 6, utilizando el software Surfer, con el método de interpolación Krigging, en esta se observa que las mayores cargas hidráulicas se presentan en el centro del área y hacia el noreste, donde se encuentra el cerro de Chiconautla. En la zona central se observa una zona de mayor elevación del nivel piezométrico con respecto a las demás, de 2210 msnm este representa un parteaguas subterráneo, en esta zona se observa la distribución de los flujos a los acuíferos Cuautitlán-Pachuca, Zona Metropolitana de la Ciudad de México y Texcoco, característica particular que coincide con la división de acuíferos que realiza la CONAGUA.

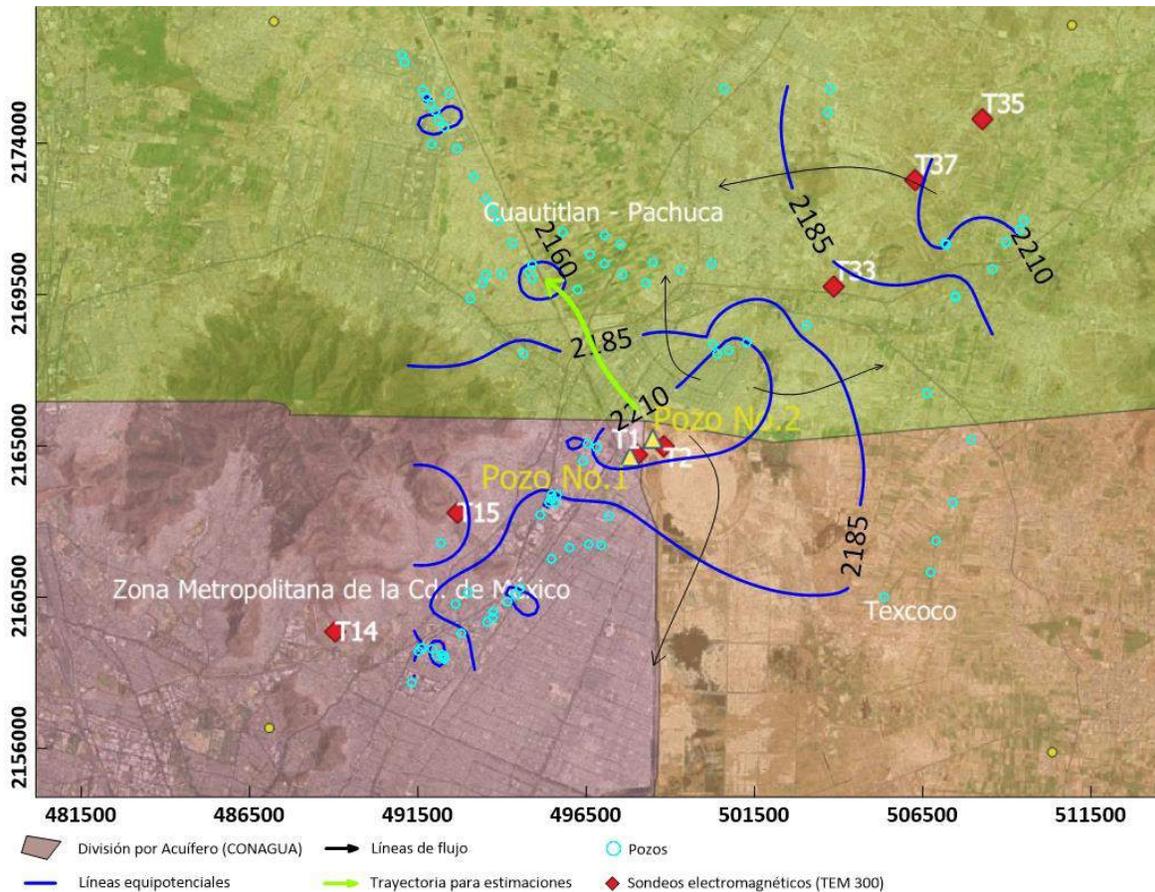


Figura 6. Red de flujo generado con datos de 2011. Elaboración propia

Con lo obtenido en el perfil geoelectrico, las perforaciones realizadas y los niveles estáticos medidos en los pozos cercanos al perfil se construyó un modelo hidrogeológico de la zona (Figura 7).

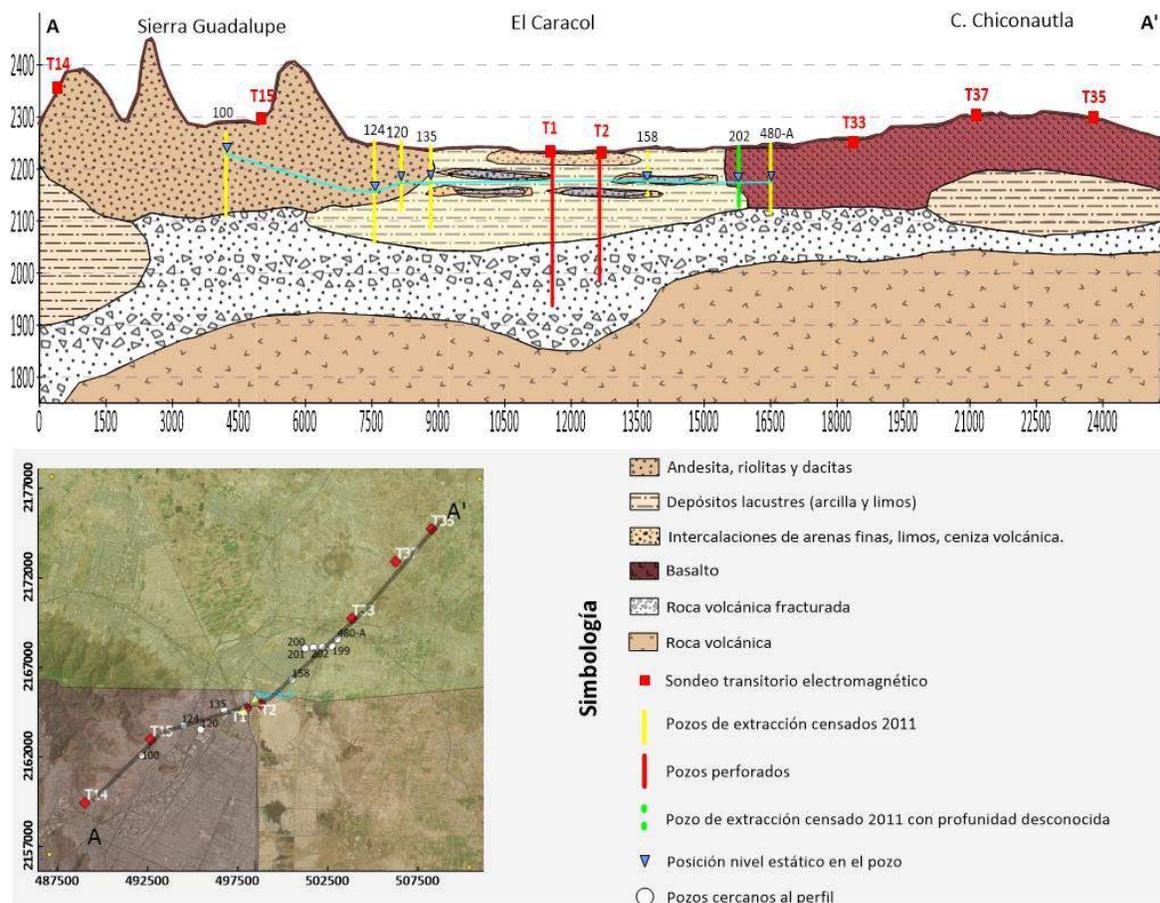


Figura 7. Modelo Hidrogeológico. Elaboración propia

Registro de pozos, análisis de parámetros petrofísicos con Ley de Archie

G. E. Archie (1941) obtuvo una relación entre la resistividad de la arena cuando está saturada con una solución electrolítica (R_o) y la resistividad de la solución (R_w) mediante un factor de resistividad de la formación (F)

$$R_o = FR_w \quad \text{Ec.1}$$

Al analizar varias muestras de formaciones diferentes, encontraron que el parámetro F está en función de las características de la formación como porosidad y permeabilidad, de esto último deriva la relación entre factor de resistividad de formación y la porosidad

$$F = \theta^{-m} \quad \text{Ec.2}$$

Con las ecuaciones anteriores, conociendo la resistividad del fluido y la resistividad de la formación se puede calcular la porosidad del medio. Estos cálculos se realizaron a partir de las curvas de registro de resistencia del fluido, la resistividad de la formación y con un valor de $m=2$, a partir de varios estudios realizados, se observó que para areniscas consolidadas el valor de m fluctúa entre 1.8 y 2 conforme baja el valor los sedimentos son menos consolidados y mejor seleccionados.

A partir de esta ecuación se obtuvieron valores de la porosidad a cada metro de profundidad. En la Figura 8a se graficaron los valores para el pozo perforado dos, que tiene una profundidad de 250m.

En los primeros horizontes se observa una porosidad alta del 100%, esto puede relacionarse con la presencia de arcillas, ya que la presencia de esta afecta en gran medida la exactitud del cálculo y las arcillas presentan una porosidad de entre el 80 y 90%, sin embargo, tienen una permeabilidad baja. A partir de los 100 m hay una disminución de la porosidad hasta el 75 % esto también se relaciona con la disminución de la presencia de arcillas y la existencia de arenas y gravas. Nuevamente a los 145 m se presenta otra disminución de la porosidad a 30% hasta los 220 m donde aumenta nuevamente hasta entre el 60 y 70%

En la Figura 8b se observan los valores obtenidos de porosidad del pozo uno, con 300 m de profundidad, los primeros 100 m presentan los porcentajes más altos de porosidad con más del 50%, que también se relaciona con la presencia de arcillas Este porcentaje baja hasta los 200 m a 40% lo que se relaciona con lo reportado con presencia de arenas finas y grava y entre los 200 m hasta los 270 m vuelve a disminuir hasta 25-30% en donde se reportan arenas, gravas e intercalaciones de roca

Estos valores de porosidad son estimativos para sondear las condiciones generales del sitio; no son valores exactos.

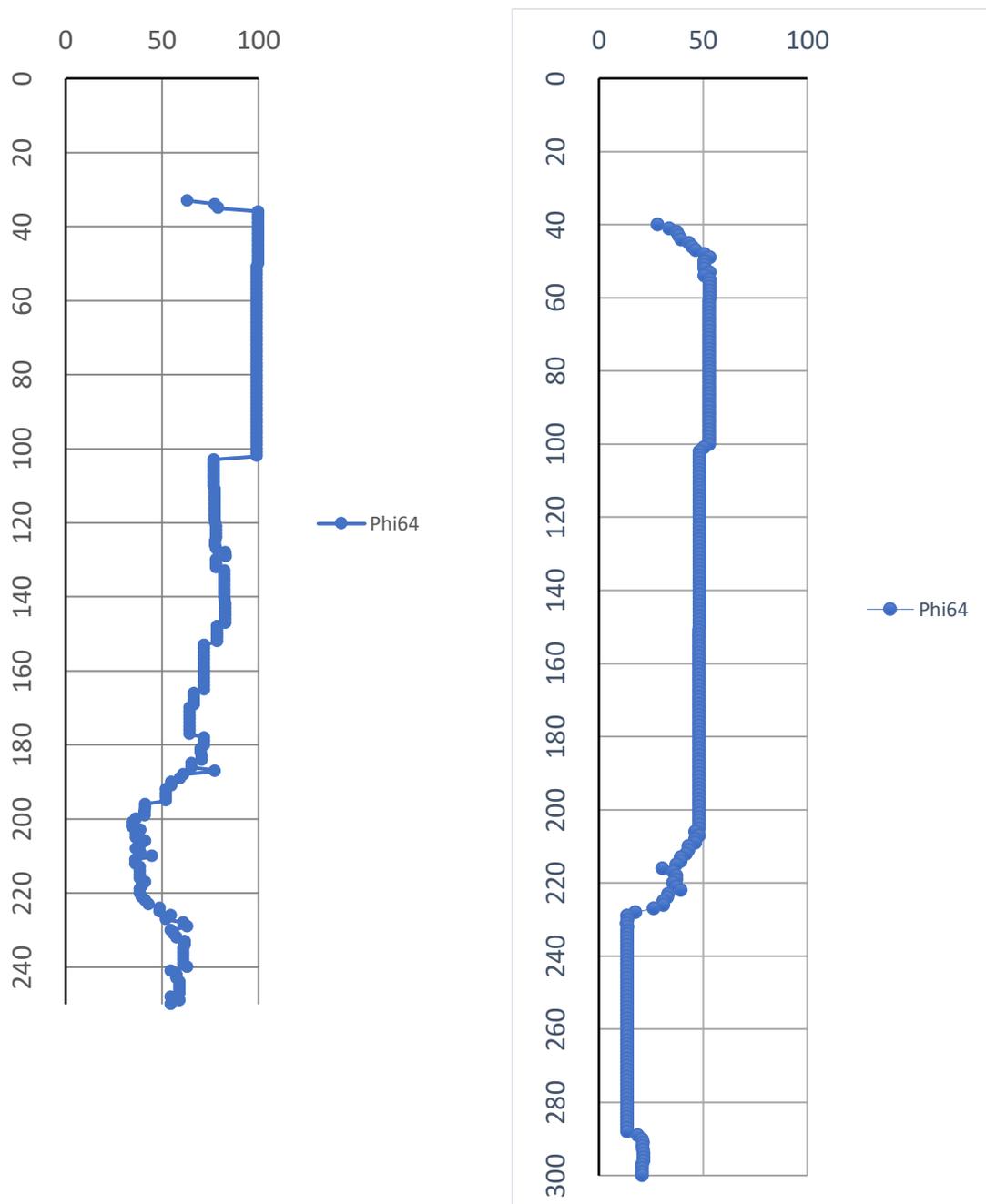


Figura 8. Gráficos de porosidad estimada a partir de registro geofísico de resistividad a) Pozo 2 lado izquierdo b) Pozo1 lado derecho

Parámetros hidrogeológicos y pruebas de permeabilidad

Se propone localizar pozos de infiltración en la zona donde se realizaron las perforaciones, colocando la tubería ranurada en el horizonte permeable, después de los depósitos de arcillas que tienen un espesor aproximado de 100 m, es decir, realizar infiltración directa en el acuífero. Se realizó el cálculo de la velocidad del flujo para conocer cuánto tiempo tardaría el agua que se

infiltrara en alcanzar los pozos que abastecen el agua para uso urbano, para ello se emplea la Ley de Darcy, asumiendo que el acuífero es un medio poroso, simple y homogéneo sobre la escala que se está analizando. La ecuación empleada es la Ec. 1, en la cual los valores de K son difíciles de establecer por las variaciones inherentes a este parámetro, representando la mayor fuente de error (Devlin, 2020)

$$v = -\frac{K}{\eta_e} \frac{\Delta H}{\Delta l} \quad \text{Ec. 1}$$

Para el cálculo de la velocidad lineal se utilizaron los datos provenientes de las pruebas de recarga, la red de flujo obtenida y lo reportado en el estudio realizado por Goevaluaciones y Perforaciones (2013). Las pruebas de recarga llevadas a cabo fueron por gravedad y por presión, mediante la primera se logró recargar un gasto de 5 a 10 litros por segundo, mientras que a presión se obtuvo un gasto de hasta 55 litros por segundo.

De las pruebas realizadas se obtuvieron valores de transmisividad de entre 4864.32 y 7110.72 m²/día en los rellenos lacustres y un valor de 8873.28 m²/día, en la zona identificada en este trabajo como roca volcánica fracturada. En esta capa también se encontraron intercalaciones de gravas y arenas de acuerdo con lo reportado durante la perforación. En este último horizonte los valores de conductividad hidráulica oscilan entre 8640 y 8.64x10⁻⁴ m/día, en la Tabla 3 se indican los valores mencionados, así como otros valores reportados por diferentes autores para distintas litologías, esto con la finalidad de establecer un rango de valores para k y η_e para realizar las aproximaciones de la velocidad lineal.

Tabla 3. Valores de transmisividad y conductividad hidráulica

| T [m ² /día] | K [m/día] | | Litología | Porosidad eficaz (η _e) | Fuente |
|-------------------------|-----------------------|-----|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4864.32 | | Min | Lacustres | | Goevaluaciones y Perforaciones |
| 7110.72 | | Max | | | |
| | 8.64*10 ⁻⁴ | Min | Rocas volcánicas fracturadas | | Goevaluaciones y Perforaciones |
| 8873.28 | | | | | Goevaluaciones y Perforaciones |
| | 8640 | Max | | | Goevaluaciones y Perforaciones |
| | 0.800064 | Min | Grava arenosa | | Fogg, G., Noyes, C. y Carle, S. |
| | 151.2 | Max | | | Bernward Hölting et al. (2019) |
| | 8.64 | Min | Basalto Fracturado | | The handbook of groundwater engineering (1999) |
| | 8640 | Max | | | Freeze Cherry (1979) |
| | 0.000302 | Min | Limo arcilloso | | Timms, W. A., Crane, R., Anderson, D. J., Bouzalakos, S., Whelan, M., McGeeney, D. y Acworth, R. I. (2014). |
| | 0.216864 | Max | | | Bernward Hölting et al. (2019) |

A partir de los valores reportados se estableció un rango de valores para k y η_e en el presente trabajo, realizando diferentes cálculos de velocidades variando estos parámetros como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de velocidades del flujo subterráneo a partir de Ley de Darcy

| v [m/d] | η_e | k | ΔH [m] | Δl [m] | tiempo [d] | tiempo [a] |
|-------------|----------|------|----------------|----------------|------------|------------|
| 0.003265306 | 25 | 8 | 50 | 4900 | 1500625 | 4111.30137 |
| 0.326530612 | 25 | 800 | 50 | 4900 | 15006.25 | 41.1130137 |
| 3.265306122 | 25 | 8000 | 50 | 4900 | 1500.625 | 4.11130137 |
| 0.002721088 | 30 | 8 | 50 | 4900 | 1800750 | 4933.56164 |
| 0.272108844 | 30 | 800 | 50 | 4900 | 18007.5 | 49.3356164 |
| 2.721088435 | 30 | 8000 | 50 | 4900 | 1800.75 | 4.93356164 |
| 0.002332362 | 35 | 8 | 50 | 4900 | 2100875 | 5755.82192 |
| 0.233236152 | 35 | 800 | 50 | 4900 | 21008.75 | 57.5582192 |
| 2.332361516 | 35 | 8000 | 50 | 4900 | 2100.875 | 5.75582192 |

En la Figura 6 se puede observar el trayecto trazado para este análisis de velocidad, de aproximadamente 5km de longitud. Los límites máximos y mínimos se descartaron ya que es difícil que un valor permanezca en todas las direcciones y al utilizarlos se sobre y subestimarían los valores de tiempo de tránsito. De los valores obtenidos se estableció un rango de velocidad lineal de aproximadamente 0.002 a 0.3 m/d.

Con este rango de velocidad lineal, tenemos tiempos estimados de 5,000 a 4 años, este rango se puede acotar con la integración de la información obtenida conjuntando los resultados de los estudios implementados en la zona.

Análisis hidrogeoquímicos y cálculo de índices de saturación

Otro aspecto importante para la conservación de los acuíferos y de las obras de recarga para estos, es la hidrogeoquímica y su modelación, ya que existirá interacción entre dos cuerpos de agua, el agua nativa y el agua de recarga.

De la información recopilada se consideraron 15 muestras de agua para analizar sus elementos mayores. En la Tabla 5 se presentan los datos generales de 8 muestras de agua, las coordenadas corresponden al pozo 1 y pozo2, mismos donde se realizaron las pruebas de recarga. Las muestras base 1 y base 2 muestran la composición química del agua subterránea nativa, previo a la prueba de recarga gestionada mientras que las muestras Mezcla 1, 2 y 3 representan la combinación de agua una vez realizada la primera prueba de recarga a tiempos diferentes.

Tabla 5. Datos generales de muestras de agua analizadas (Goevaluaciones y perforaciones, 2013)

| ID | X | Y | Profundidad | | Fecha de muestreo |
|----------|-----------|----------|-------------|--------|-------------------|
| Base 1 | 2164664.6 | 497803.8 | 250 | Pozo 1 | 16/08/2012 |
| Base 2 | 2165160.7 | 498784.3 | 200 | Pozo 2 | 17/08/2012 |
| Mezcla 1 | 2164664.6 | 497803.8 | 150 | Pozo 1 | 31/08/2012 |
| Mezcla 2 | 2164664.6 | 497803.8 | 150 | Pozo 1 | 07/09/2012 |

| | | | | | |
|----------|-----------|----------|-----|--------|------------|
| Mezcla 3 | 2165160.7 | 498784.3 | 150 | Pozo 2 | 21/09/2012 |
| Acui 1 | 2164664.6 | 497803.8 | 40 | Pozo 1 | 11/09/2012 |
| Acui 2 | 2164664.6 | 497803.8 | 40 | Pozo 1 | 13/09/2012 |
| Acui 3 | 2165160.7 | 498784.3 | 40 | Pozo 2 | 22/09/2012 |

Para conocer la calidad del análisis de las muestras se realizó el balance iónico que permite conocer la confiabilidad de los resultados de las concentraciones, si se encuentra dentro de un rango de $\pm 10\%$ los valores son aceptables como es el caso de las muestras analizadas.

Las primeras cinco muestras analizadas correspondientes al acuífero antes y después de las pruebas de infiltración, las cuales presentan concentraciones altas de sodio, potasio, magnesio, cloruros y carbonatos, como se muestra en la Figura 9. Las concentraciones de los elementos encontrados en cada muestra se presentan en la Tabla 9.

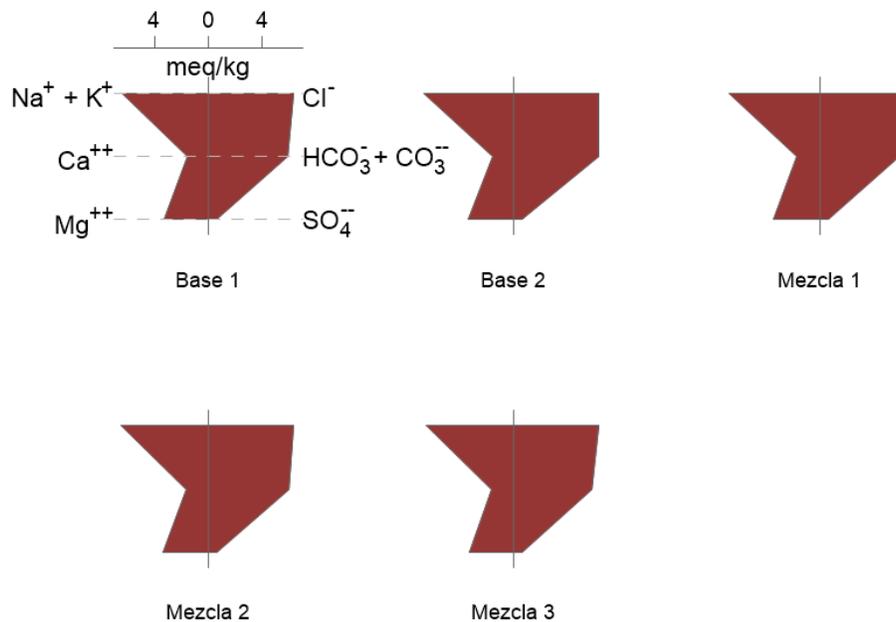


Figura 9. Diagramas de Stiff de las muestras Base 1,2 y Mezcla 1,2 y 3

A partir de estos datos se clasifica cada muestra de acuerdo con diferentes criterios, el primero de ellos es con base en el contenido de sólidos disueltos totales (SDT ó TDS por sus siglas en inglés). En Allan Freeze y Cherry (1979) se presenta una clasificación de acuerdo con ciertos rangos de concentraciones, en la Tabla 6 se muestran los resultados con base en la concentración de SDT de cada muestra.

Tabla 6. Clasificación de las muestras de acuerdo con la concentración de SDT

| ID | TDS | Clasificación |
|----------|--------|---------------|
| Base 1 | 877.24 | Agua dulce |
| Base 2 | 915.17 | Agua dulce |
| Mezcla 1 | 911.57 | Agua dulce |

| | | |
|-----------------|-----------|-------------|
| Mezcla 2 | 893.62 | Agua dulce |
| Mezcla 3 | 879.10 | Agua dulce |
| Acui 1 | 19,272.00 | Agua salada |
| Acui 2 | 19,303.60 | Agua salada |
| Acui 3 | 19,644.20 | Agua salada |

La segunda clasificación está basada en el contenido de cationes de Calcio y Magnesio, determinando la dureza del agua, esta es importante ya que en contacto con jabón genera precipitación, por lo que aguas duras no son recomendables para uso urbano y se deberá realizar algún proceso para remover estos cationes, de acuerdo con los rangos establecidos, las muestras se clasifican por su dureza como se muestra en la Tabla 7 (Todd y Mays, 2005)

Tabla 7. Clasificación de las muestras de acuerdo con la dureza

| ID | Valor de dureza total | Clasificación |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Base 1 | 241.59 | Dura |
| Base 2 | 250.99 | Dura |
| Mezcla 1 | 257.38 | Dura |
| Mezcla 2 | 252.92 | Dura |
| Mezcla 3 | 249.05 | Dura |
| Acui 1 | 6,302.96 | Muy Dura |
| Acui 2 | 6,042.68 | Muy Dura |
| Acui 3 | 6,219.21 | Muy Dura |

La tercera la clasificación de la calidad del agua para riego, es importante el contenido de sales ya que puede causar modificaciones en la permeabilidad, aireación e indirectamente en el crecimiento de las plantas, para establecer los límites se realizaron estudios por Todd y Mays (2005)

Tabla 8. Clasificación de las muestras por su contenido de sales para uso agrícola

| ID | Parámetros | Valor | Clasificación |
|-----------------|--------------------------------|---------|---------------|
| Base 1 | %Na | 56.85 | Permisible |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1260 | |
| Base 2 | %Na | 57 | Permisible |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1259 | |
| Mezcla 1 | %Na | 56.6164 | Permisible |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1289 | |
| Mezcla 2 | %Na | 56.13 | Permisible |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1242 | |
| Mezcla 3 | %Na | 56.49 | Permisible |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 1251 | |
| Acui 1 | %Na | 63.63 | No Apta |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 34900 | |
| Acui 2 | %Na | 65.77 | No Apta |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 34900 | |
| Acui 3 | %Na | 65.7428 | No Apta |
| | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 34900 | |

De los resultados de las diferentes clasificaciones de agua, se determina que las muestras de agua nativa y las provenientes de la mezcla se consideran agua dulce, pero con dureza, que de usarse directamente por las personas debe aplicarse un previo tratamiento y puede ser permisible para el

riego, estos resultados se obtuvieron así, ya que el agua inyectada fue proporcionada de pozo a pozo, es decir para las pruebas de infiltración en el pozo 1 se tomó agua del pozo 2 y viceversa. Por otro lado, las muestras provenientes de los acuitardos representan agua salada, muy dura y no apta para riego.

Finalmente, los índices de saturación obtenidos mediante el software PHREEQC a partir de las concentraciones de los elementos de cada muestra (Tabla 8), son necesarios para poder identificar los minerales que precipitarán o se disolverán, es decir, si la muestra está sobresaturada o subsaturada para cada caso respectivamente. Se encontró que en las muestras identificadas como base y mezclas la calcedonia precipitará mientras que la calcita se disolverá, la dolomita tenderá a disolverse, así como la magnesita. Las simulaciones se realizaron variando el porcentaje de combinación entre el agua nativa y el agua de inyección. Estos resultados deben tomarse en cuenta también para determinar la composición del agua de inyección, así como lo establece la NOM-014-CONAGUA-2003.

Tabla 9. Concentraciones de los elementos en cada muestra. (Goevaluaciones y perforaciones, 2013)

| ID | mg/l | | | | | | | | | | | ug/l | | | | | | | | |
|----------|-----------|----------|-------|----------|--------|-----------|--------|----------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | TDS | Na | K | Mg | Ca | Cl | SO4 | HCO3 | CO3 | NO3 | Si | Li | Sr | Mn | Fe | Br | Ba | F | Al | As |
| Base 1 | 877.24 | 134.00 | 21.50 | 39.90 | 31.20 | 222.00 | 28.80 | 356.90 | 0.00 | 1.30 | 40.40 | 84.00 | 450.00 | 57.00 | 410.00 | 0.70 | 149.00 | 0.10 | 87.00 | 4.70 |
| Base 2 | 915.17 | 140.00 | 22.60 | 41.40 | 32.50 | 223.00 | 28.70 | 380.60 | 0.00 | 0.60 | 44.50 | 91.00 | 470.00 | 60.00 | 420.00 | 0.60 | 157.00 | 0.10 | 62.00 | 5.60 |
| Mezcla 1 | 911.57 | 141.00 | 23.30 | 41.80 | 34.40 | 232.00 | 29.60 | 359.90 | 0.00 | 0.70 | 47.30 | 94.00 | 480.00 | 58.20 | 560.00 | 0.60 | 171.00 | 0.20 | 204.00 | 6.50 |
| Mezcla 2 | 893.62 | 136.00 | 22.20 | 41.20 | 33.60 | 222.00 | 28.30 | 363.00 | 0.00 | 0.80 | 44.80 | 91.00 | 470.00 | 56.50 | 640.00 | 0.60 | 167.00 | 0.10 | 285.00 | 6.10 |
| Mezcla 3 | 879.10 | 136.00 | 22.00 | 40.50 | 33.20 | 221.00 | 28.50 | 350.80 | 0.00 | 1.00 | 44.50 | 91.00 | 470.00 | 56.50 | 600.00 | 0.70 | 169.00 | 0.10 | 206.00 | 6.20 |
| Acui 1 | 19,272.00 | 5,029.00 | 86.00 | 1,090.60 | 732.60 | 10,419.00 | 177.50 | 1,734.20 | 0.00 | 3.10 | | | | | | | | | | |
| Acui 2 | 19,303.60 | 5,299.00 | 84.80 | 1,024.80 | 736.40 | 10,304.10 | 177.50 | 1,672.60 | 0.00 | 4.40 | | | | | | | | | | |
| Acui 3 | 19,644.20 | 5,444.80 | 90.80 | 1,065.60 | 740.10 | 10,419.00 | 192.50 | 1,687.90 | 0.00 | 3.50 | | | | | | | | | | |

Conclusión y recomendaciones

En este trabajo se presenta una metodología para evaluar la factibilidad de proyectos de recarga gestionada. El primer estudio aplicado luego de la investigación de la zona fue la geofísica, donde se identificaron cuatro unidades diferentes por su respuesta eléctrica, mismas que fueron confirmadas durante la perforación por la descripción litológica, esta además permitió identificar las variaciones dentro los primeros 100-120 m de arcilla, encontrando capas duras, llamadas así por término geotécnico, que son intercalaciones de grava arenas finas y limo, mencionadas también por Carranza-Edwards (2018) y de las cuales provenía el agua para la producción de sales de sodio.

Otra unidad identificada de importancia es la denominada como roca volcánica fracturada ya que fue donde se realizaron las pruebas de infiltración. En esta capa durante la perforación se encontró presencia de grava, arena gruesa y fina, que son rocas vulcano-sedimentarias, estos sedimentos coinciden con lo reportado por García-Palomo et al. (2006); Lugo-Hubp y Salinas-Montes (1996). Mooser H. (2018) y explican los valores de resistividades más bajas que la capa que se encuentra debajo también conformada por rocas volcánicas. Así mismo, en los cálculos con la Ley de Archie se encontró porosidad en esta zona con los porcentajes representativos de rocas almacenadoras para acuíferos entre un 20 y 30% de porosidad a profundidades entre 110 y 180-200m. En esta capa se llevaron a cabo pruebas de infiltración en los dos pozos perforados mediante gravedad y presión, en cada caso se logró inyectar un gasto de 5 a 10 litros por segundo y de hasta 55 litros por segundo respectivamente. Con estas pruebas de inyección se obtuvieron valores de conductividad hidráulica (K), variables entre 8640 y $8.64 \cdot 10^{-4}$ m/día. Cabe señalar que también se realizaron pruebas en la capa de arcillas en donde hubo pérdidas de lodo durante la perforación y también para esta capa se obtuvieron valores de K.

Así mismo, se llevó a cabo una recolección de datos para conocer los niveles piezométricos en el área de estudio durante 2011 y 2012, con estos datos se realizó una red de flujo en la cual se observa que la zona presenta un parteaguas subterráneo. En donde se perforaron los pozos se encuentra una zona que se denominará domo, ya que es la zona de mayor elevación de nivel piezométrico por esta condición a partir de esta zona el flujo de agua subterránea se distribuye hacia los acuíferos Cuautitlán Pachuca, Texcoco y Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la red de flujo además permitió estimar trayectorias del agua subterránea, de esta zona donde se perforaron los pozos el agua subterránea fluye hasta la batería de pozos que abastece a la Ciudad de México lo que confiere mayor importancia a la zona para seleccionarla como zona de recarga gestionada mediante pozos en el acuífero.

Con la red de flujo y los valores de K se realizaron cálculos a partir de la Ley de Darcy para obtener velocidades lineales sobre una trayectoria definida, desde los pozos perforados hacia la batería de pozos que alimentan la Ciudad de México a 5km de distancia aproximadamente, debido a la variación de k el rango de velocidad se encuentra entre .002 y 0.3 m/d esto implica un tiempo de tránsito de entre 4 a 5000 años, esto es un rango muy amplio debido a la heterogeneidad de esta zona donde existen horizontes de ceniza volcánica y gravas, arenas, roca fracturada; sin embargo, permite tener una idea del tiempo que puede transcurrir para que el agua llegue de un punto a otro, pues se suele considerar al agua subterránea como un recurso renovable y los proyectos para mantener el equilibrio de los acuíferos no se implementan considerando estos tiempos. El método

para los cálculos se tomó de Devlin (2020) donde también se exponen otros métodos que se pueden implementar para contar con un dato preciso de la velocidad y el tiempo u obtener rangos con menor amplitud.

Por último, con respecto a los datos obtenidos por Goevaluaciones y Perforaciones (2013) en las pruebas de recarga, muestras de agua y modelación hidrogeoquímica, esta última realizada además por cumplimiento a la NOM-014-CONAGUA-2003 que establece los requisitos que deben cumplir: la calidad del agua, la operación y el monitoreo utilizados en los sistemas de recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada; se encuentra que las muestras de agua nativa y mezclada presentan altas concentraciones de sodio, potasio, magnesio, cloruros y carbonatos. El magnesio y calcio pueden provenir por el contacto con rocas volcánicas de composición máfica principalmente, como anfíboles y piroxenos, mientras que los minerales como el sodio y el potasio provienen del contacto de minerales arcillosos. El bicarbonato está presente en las aguas subterráneas generalmente con concentraciones menores a 500 mg/l como es el caso de estas muestras. El sulfato también se encuentra en concentraciones normales, sin embargo, las concentraciones de cloro el cual puede provenir por contacto con evaporitas o rocas ígneas, lo común es encontrar concentraciones menores de 10 mg/l, pero las muestras presentan cerca de 200 mg/l lo cual le daría un sabor salado y podría causar un daño fisiológico (Todd & Mays, 2005). Estas concentraciones son del agua con que se recargaría el acuífero en la zona cercana al Caracol, la cual atravesará diferentes materiales en su tránsito subterráneo el cual puede filtrar y/o aportar otros elementos químicos, en el presente trabajo no se determinó la calidad de agua a la salida de los pozos de extracción, por lo que se recomienda realizar un análisis al extraer el agua para conocer el impacto que tendría los horizontes de roca por los que atravesará subterráneamente el agua y aplicar o descartar la implementación de un tratamiento al agua.

Finalmente, se resalta la importancia de la subsidencia, en esta zona la causa de esta puede asociarse a las extracciones de agua, aunado al tipo de suelo, durante el desarrollo de los trabajos se observó este fenómeno, hecho que suma importancia a la ejecución de los proyectos de recarga gestionada en esta área y la urgencia de la implementación de estos, de acuerdo con Díaz-Nigenda et al. (2023) aún después de estabilizados los niveles piezométricos que pueden suceder con los proyectos de recarga puede continuar presentándose subsidencia por un tiempo más, esto puede estimarse para cada sitio mediante estudios indirectos como la geofísica y de modelaciones de los sistemas acuíferos, por lo cual es vital que existan datos como la resistividad eléctrica y piezometría, de al menos dos mediciones en cada época del año, en estiaje y lluvias. Aunque la subsidencia no puede revertirse si puede mitigarse y evitar que siga aumentando, no sólo se evitarían pérdidas económicas para resarcir sus efectos en vialidades, edificaciones, drenaje, etc., sino que podría ser una respuesta para mantener la fuente de almacenamiento subterránea de esta área y con ello asegurar el abastecimiento de agua.

Bibliografía

- Allan Freeze, R., & Cherry, J. A. (1979). *GROUNDWATER*. Prentice-Hall, Inc.
- Arreguín Cortés, F. I., López Pérez Mario, Escolero Óscar, & Gutiérrez Carlos. (2017). *MANEJO DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS: UN ENFOQUE HACIA LATINOAMÉRICA 2017*. www.gob.mx/imta
- Carranza-Edwards, A. (2018). *Correlación litológica del subsuelo del lago de Texcoco* (Vol. 28, Issue 1).
- Christiansen, A. V., Auken, E., & Sorensen, K. (2009). *The Transient electromagnetic method* (pp. 179–225).
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Atlas del Agua en Comisión Nacional del Agua*. www.gob.mx/conagua
- CONAGUA. (2019). *Estadísticas del Agua en México*.
- CONAGUA. (2021). *La Cuenca del Valle de México*.
- Data Mexico (12 de noviembre de 2023). Acerca de [Entidad Federativa]. Secretaría de Economía. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/ciudad-de-mexico-cx>
- Devlin, J. F. (2020). *Groundwater Velocity*.
- Díaz-Nigenda, J. J., Morales-Casique, E., Carrillo-García, M., Vázquez-Peña, M. A., & Escolero-Fuentes, O. (2023). Importance of Aquitard Response Time for Groundwater Management in Multi-Aquifer Systems Subject to Land Subsidence. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03611-z>
- Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A. C. (2018, February 19). *Aguas residuales y contaminación en México*.
- G. E. Archie. (1941). *The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics*. <http://onepetro.org/TRANS/article-pdf/146/01/54/2179020/spe-942054-g.pdf/1>
- García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García, A., & Concha-Dimas, A. (2006). *Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin* (Issue 2).
- Geoevaluaciones y perforaciones. (2013). *Estudio de pruebas de recarga continua y su monitoreo, bajo diferentes cargas hidráulicas, en pozos piloto de recarga profunda, asociados a la recarga artificial con agua residual tratada al acuífero Cuautitlán-Pachuca*.
- INEGI. (1986). *Síntesis Geográfica*.
- INEGI. (2021). *Detección de zonas de subsidencia en México con técnicas satelitales*. www.inegi.org.mx

- Lugo-Hubb, J., & Salinas-Montes, A. (1996). Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de México) y su relación con peligros naturales. *Revisita Mexicana de Ciencias Geológicas*, 240–251.
- María Gabriela Salido Magos. (2021). Iniciativa con proyecto de decreto por el que adiciona un artículo 50 bis a la Ley Orgánica de Alcaldías de la Ciudad de México. In *Congreso de la Ciudad de México* (pp. 1–8).
- Mooser H., F. (2018). *Geología del Valle de México y otras regiones del país*.
- Morales-Casique, E., Escolero A., O., & Arce L., J. (2014). Resultados del pozo san Lorenzo y sus implicaciones en el entendimiento de la hidrogeología regional de la cuenca de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31, 64–75. www.rmccg.unam.mx
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. La Agenda Para El Desarrollo Sostenible.
- ONU. (2015). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Hitos. www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecsc.html#p4www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/res_agenda21_18.shtml
- Rieder, J. S., & Kneisel, C. (2023). Monitoring spatiotemporal soil moisture variability in the unsaturated zone of a mixed forest using electrical resistivity tomography. *Vadose Zone Journal*. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20251>
- Todd, D., & Mays, L. (2005). *GROUNDWATER HYDROLOGY* (Third Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Uhlemann, S., Ulrich, C., Newcomer, M., Fiske, P., Kim, J., & Pope, J. (2022). 3D hydrogeophysical characterization of managed aquifer recharge basins. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.942737>
- Wangsness, R. K. (2001). Campos Electromagnéticos. In *Campos Electromagnéticos* (pp. 325–340).

ANEXOS

Anexo I. Análisis de datos de precipitación

Como se menciona en el capítulo I, se encontraron seis estaciones climatológicas activas dentro del área de estudio (Tabla 10), de las cuales se analizaron sus datos.

Tabla 10. Generalidades de las estaciones en el área de estudio

| Estación | Nombre | Municipio | Situación | Organismo | Latitud | Longitud |
|----------|----------------------|---------------------|-----------|-------------|---------|----------|
| 15022 | Chiconautla | Tecámac | Operando | CONAGUA-DGE | 19.657 | -99.017 |
| 15263 | Acolman | Acolman | Operando | CONAGUA-DGE | 19.64 | -98.913 |
| 15041 | Gran canal km 27+250 | Ecatepec de Morelos | Operando | CONAGUA-DGE | 19.562 | -99.019 |
| 15044 | La grande | Atenco | Operando | CONAGUA-DGE | 19.576 | -98.914 |
| 15008 | Atenco | Atenco | Operando | CONAGUA-DGE | 19.544 | -98.913 |
| 15083 | San Andrés | Texcoco | Operando | CONAGUA-DGE | 19.532 | -98.911 |

Las estaciones contaban con registros aparentes desde el año 1960, sin embargo, en esos periodos se encontraron muchos días sin datos, además, la variación del clima en los últimos años conllevó a elegir los datos a partir de 2010 hasta el 2017.

En la Figura 10 se observa una gráfica de calor, en tonos azules se representan los meses con mayor cantidad de datos faltantes, a partir del cual se observó que la estación con más datos faltantes es la 15041 y en general, las estaciones con mayor cantidad de datos son la 15008, 15083 y 15022, observándose para esta última que hay datos faltantes en el periodo más reciente de 2017.

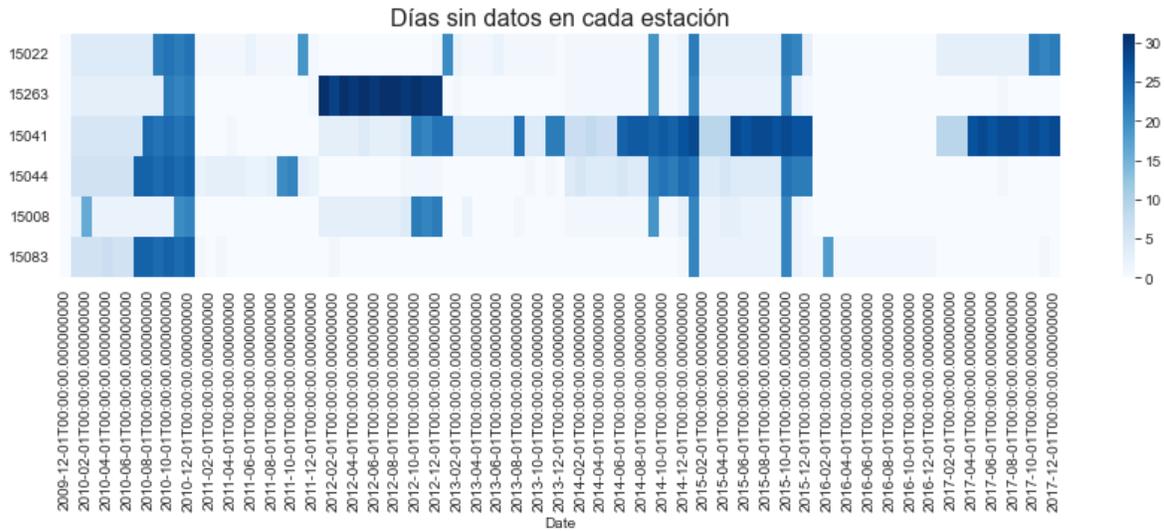


Figura 10. Gráfica de calor de días sin datos por estación

Una vez seleccionadas las estaciones con mayor cantidad de datos, se representó gráficamente los diferentes periodos de acumulación, las primeras graficas representan la acumulación en mm de precipitación por día en cada estación (Figura 11, Figura 12 y Figura 13). Se observa que para la estación 15008 Atenco, el día con mayor precipitación fue de más de 80 mm, para la de Chiconautla cerca de 140 mm y para la estación San Andrés cerca de 70 mm, pero el valor más frecuente de precipitación en un día ronda en los 10 mm, 20 mm y 10 mm respectivamente para cada estación.

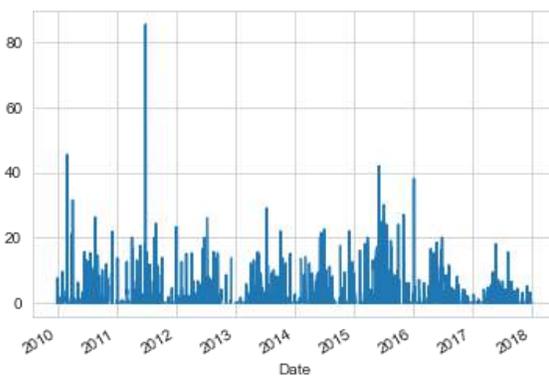


Figura 11. Precipitación diaria acumulada, estación Atenco 15008

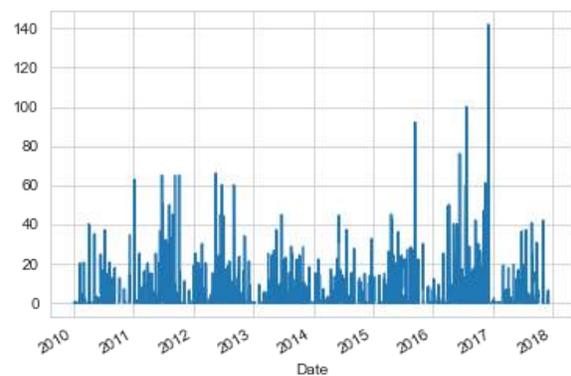


Figura 12. Precipitación diaria acumulada, estación Chiconautla 15022

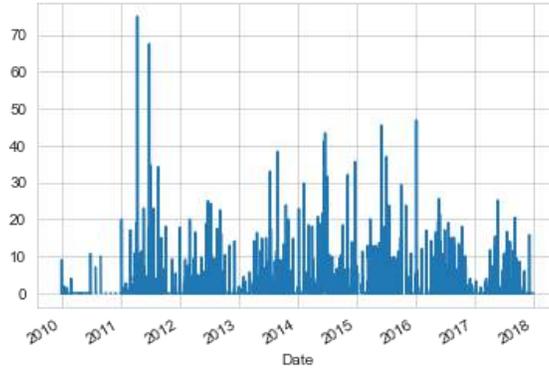


Figura 13. Precipitación diaria acumulada, estación San Andrés 15083

Para las gráficas de precipitación mensual (Figura 14, Figura 15 y Figura 16) hay un cambio notorio en las tres estaciones con tendencia a la baja en precipitación para el año 2017, cabe recordar sin embargo que los datos de la 15022 Chiconautla para los últimos periodos no son confiables ya que no se registraron muchos eventos. Sin embargo, aunque no se agregan aquí, se observó en las demás estaciones (15044 y 15263) que cuentan con buena cantidad de datos para este periodo, la misma tendencia a la disminución de precipitación para el año 2017.

Lo observado concuerda con lo registrado en el Monitor de Sequía en México de la CONAGUA, de acuerdo con sus reportes, en 2015 se comienzan a registrar zonas anormalmente secas en el centro de México (D0-anormalmente seco) de acuerdo con su clasificación y para 2017 hubo un incremento de zonas D0 en las regiones centrales del país principalmente en el Estado de México y Tlaxcala.

En las gráficas también se puede apreciar los incrementos periódicos correspondientes a los meses de mayo junio, julio y agosto. En general, los acumulados mensuales siempre tienen un mínimo de 40 mm en la estación Atenco, los 50 mm en la estación Chiconautla y los 30 mm en la estación San Andrés.

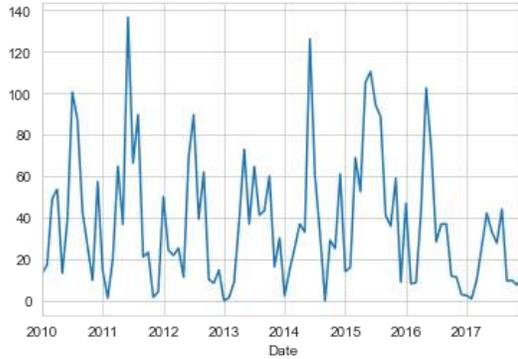


Figura 14. Precipitación mensual acumulada, estación Atenco 15008

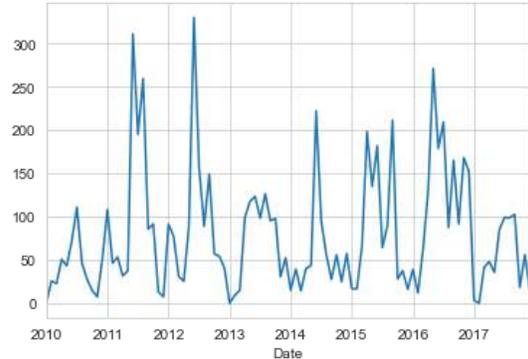


Figura 15. Precipitación mensual acumulada, estación Chiconautla 15022

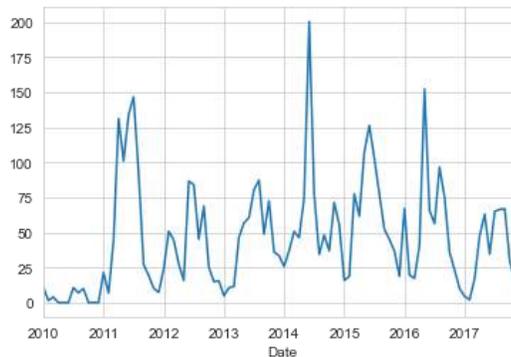


Figura 16. Precipitación mensual acumulada, estación San Andrés 15083

En las gráficas de acumulado anual (Figura 17, Figura 18 y Figura 19), se determinan los años o el año con mayor acumulación de lluvia, los mayores incrementos se observan en el año 2015 con aproximadamente 700 mm en la estación Atenco; en 2016 con cerca de 1600 mm en la de Chiconautla; para la de San Andrés no hay un registro particularmente alto, las mayores acumulaciones se registran en poco más de 700 mm. Esta estación es la que no cuenta con datos para el 2017, por lo que su valor de precipitación no es representativo, sin embargo, en los años de 2014 a 2016 se observa ya la tendencia a la disminución de precipitación.

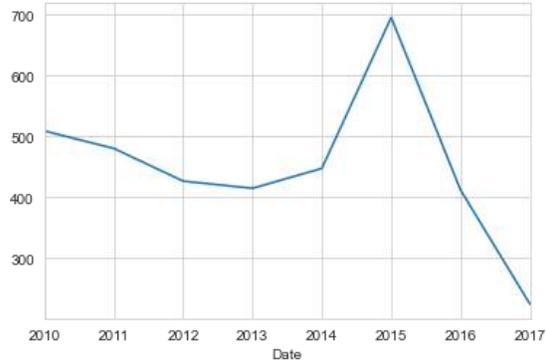


Figura 17. Precipitación anual acumulada, estación Atenco 15008

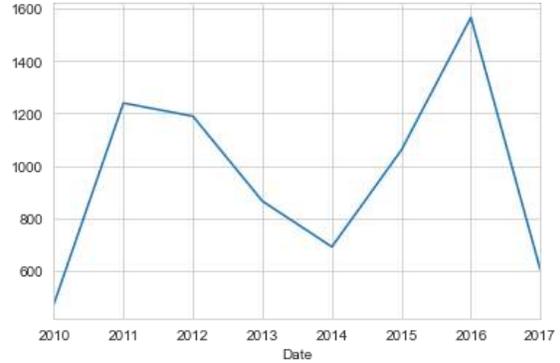


Figura 18. Precipitación anual acumulada, estación Chiconautla 15022

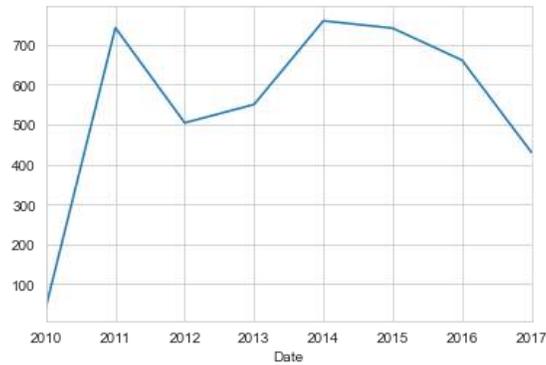


Figura 19. Precipitación anual acumulada, estación San Andrés 15083

El valor anual de precipitación que se tomará para el área es de 517 mm y está en función de la precipitación promedio anual para todo el periodo comprendido de 2010 a 2017 en cada estación, para la estación Atenco es de 400 mm, para la Chiconautla de 650mm y para la de San Andrés es de 500 mm.

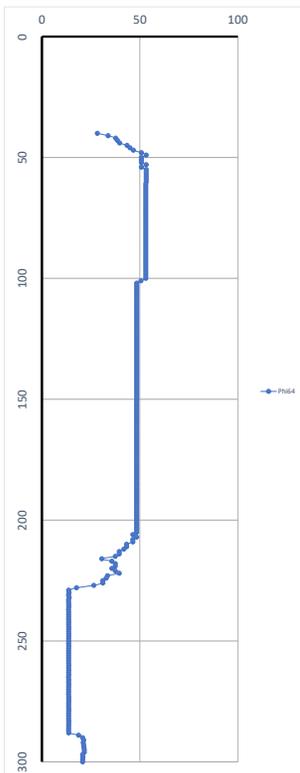
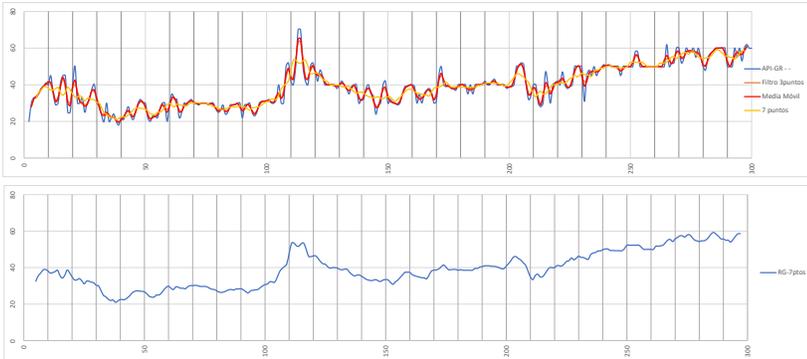
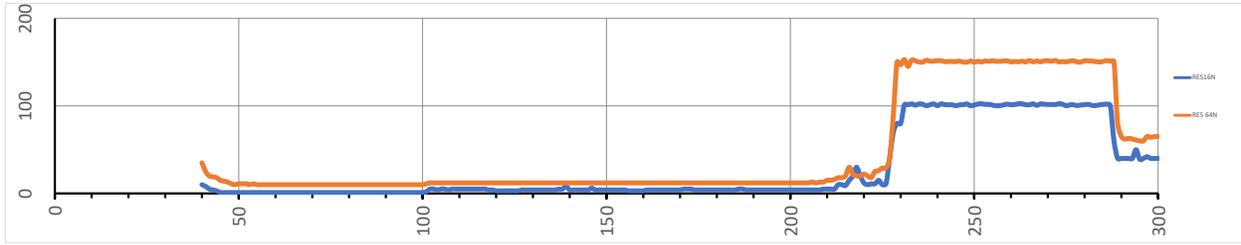
Anexo II. Memoria de cálculo de datos de registro de pozo

Cálculos con datos de registro de pozo 1

| Pozo no.1 | | | | | | | | | | Filtro 3puntos Media Móvil 7 puntos | | | | | | |
|-------------|-----|------|--------|--------|---------|----------|------------|------------|------------|-------------------------------------|-------------|--------|----------------|-------------|------------|--|
| Profundidad | N/A | OHM | API-GR | RES16N | RES 64N | RES (F1) | F16 | F64 | Phi16 | Phi 64 | Profundidad | API-GR | Filtro 3puntos | Media Móvil | 7 puntos | |
| 0 | N/A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - | - | - | |
| 1 | N/A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | |
| 2 | N/A | >100 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | 2 | 20 | - | - | - | |
| 3 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 30 | 27.6666667 | 28.25 | - | |
| 4 | N/A | >100 | 33 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 33 | 32 | 32.25 | - | |
| 5 | N/A | >100 | 33 | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 33 | 33.6666667 | 35.5 | 32.7142857 | |
| 6 | N/A | >100 | 35 | - | - | - | - | - | - | - | 6 | 35 | 35.3333333 | 35.25 | 35.7142857 | |
| 7 | N/A | >100 | 38 | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 38 | 37.3333333 | 37.5 | 37 | |
| 8 | N/A | >100 | 39 | - | - | - | - | - | - | - | 8 | 39 | 39.3333333 | 39.25 | 38.7142857 | |
| 9 | N/A | >100 | 41 | - | - | - | - | - | - | - | 9 | 41 | 40 | 40.25 | 39 | |
| 10 | N/A | >100 | 40 | - | - | - | - | - | - | - | 10 | 40 | 42 | 41.5 | 38.1428571 | |
| 11 | N/A | >100 | 45 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | 45 | 40 | 41.25 | 37 | |
| 12 | N/A | >100 | 35 | - | - | - | - | - | - | - | 12 | 35 | 36.3333333 | 36 | 37.2857143 | |
| 13 | N/A | >100 | 29 | - | - | - | - | - | - | - | 13 | 29 | 31.3333333 | 29.75 | 27.8571429 | |
| 14 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 14 | 30 | 33.3333333 | 32.5 | 38.7142857 | |
| 15 | N/A | >100 | 41 | - | - | - | - | - | - | - | 15 | 41 | 38.6666667 | 39.25 | 35.7142857 | |
| 16 | N/A | >100 | 45 | - | - | - | - | - | - | - | 16 | 45 | 43.6666667 | 44 | 34.2857143 | |
| 17 | N/A | >100 | 45 | - | - | - | - | - | - | - | 17 | 45 | 24.6666667 | 40 | 25.8571429 | |
| 18 | N/A | >100 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 18 | 25 | 31.6666667 | 30 | 38.7142857 | |
| 19 | N/A | >100 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 19 | 25 | 30 | 28.75 | 37.1428571 | |
| 20 | N/A | >100 | 40 | - | - | - | - | - | - | - | 20 | 40 | 38.3333333 | 38.75 | 35 | |
| 21 | N/A | >100 | 50 | - | - | - | - | - | - | - | 21 | 50 | 42.5 | 43.2857143 | - | |
| 22 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 22 | 30 | 36.6666667 | 35 | 33.2857143 | |
| 23 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 23 | 30 | 31 | 30.75 | 34 | |
| 24 | N/A | >100 | 33 | - | - | - | - | - | - | - | 24 | 33 | 29.3333333 | 30.25 | 32.8571429 | |
| 25 | N/A | >100 | 35 | - | - | - | - | - | - | - | 25 | 35 | 29.3333333 | 28.25 | 31.1428571 | |
| 26 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 26 | 30 | 29 | 29.25 | 32.7142857 | |
| 27 | N/A | >100 | 32 | - | - | - | - | - | - | - | 27 | 32 | 33.3333333 | 33 | 32.7142857 | |
| 28 | N/A | >100 | 38 | - | - | - | - | - | - | - | 28 | 38 | 36.6666667 | 37 | 32 | |
| 29 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 29 | 30 | 40 | 36 | 37.1428571 | |
| 30 | N/A | >100 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | 30 | 30 | 33 | 32.25 | 30.2857143 | |
| 31 | N/A | >100 | 29 | - | - | - | - | - | - | - | 31 | 29 | 27.3333333 | 27.75 | 30 | |
| 32 | N/A | >100 | 23 | - | - | - | - | - | - | - | 32 | 23 | 24 | 23.75 | 27.4285714 | |
| 33 | N/A | >100 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 20 | 24.3333333 | 23.25 | 24.8571429 | |
| 34 | N/A | >100 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | 34 | 20 | 23.3333333 | 23 | 24 | |
| 35 | N/A | >100 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | 35 | 20 | 24 | 23 | 22.7142857 | |
| 36 | N/A | >100 | 22 | - | - | - | - | - | - | - | 36 | 22 | 22 | 22 | 22 | |
| 37 | N/A | >100 | 24 | - | - | - | - | - | - | - | 37 | 24 | 22 | 22.5 | 22.2857143 | |
| 38 | N/A | >100 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | 38 | 20 | 20.6666667 | 20.5 | 24.2857143 | |
| 39 | N/A | >100 | 18 | - | - | - | - | - | - | - | 39 | 18 | 20 | 19.5 | 21.7142857 | |
| 40 | N/A | >100 | 22 | 10 | 35 | 2.8 | 3.57142857 | 12.5 | 0.52915026 | 28.2842712 | 40 | 22 | 20.3333333 | 20.75 | 22.5714286 | |
| 41 | N/A | >100 | 17 | 8 | 25 | 2.85 | 2.80701754 | 8.77392982 | 0.59686082 | 33.763886 | 41 | 21 | 22.6666667 | 22.25 | 22.4285714 | |
| 42 | N/A | >100 | 15 | 5 | 20 | 2.81 | 1.76078445 | 7.00731781 | 0.7522971 | 27.6164857 | 42 | 15 | 24.6666667 | 24.75 | 22.5714286 | |
| 43 | N/A | >100 | 28 | 4 | 19 | 2.82 | 1.41843972 | 6.73758865 | 0.83964278 | 38.525453 | 43 | 28 | 25.3333333 | 26 | 23.7142857 | |
| 44 | N/A | >100 | 23 | 3 | 18 | 2.83 | 1.06007067 | 6.36042403 | 0.97125349 | 39.6512575 | 44 | 23 | 24 | 23.75 | 24.7142857 | |
| 45 | N/A | >100 | 21 | 1 | 15 | 2.81 | 0.35335689 | 5.30353336 | 1.68226038 | 43.4357763 | 45 | 21 | 23 | 22.25 | 26.2857143 | |
| 46 | N/A | >100 | 25 | 1 | 14 | 2.81 | 0.35335689 | 4.94969647 | 1.68226038 | 44.9602999 | 46 | 25 | 25.3333333 | 25.75 | 28.8571429 | |
| 47 | N/A | >100 | 15 | 1 | 13 | 2.83 | 0.35335689 | 4.59363958 | 1.68226038 | 46.6575083 | 47 | 30 | 29 | 29.25 | 27.2857143 | |
| 48 | N/A | >100 | 15 | 1 | 11 | 2.83 | 0.35335689 | 3.88692528 | 1.68226038 | 50.722059 | 48 | 32 | 30 | 27.1428571 | - | |
| 49 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.83 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 49 | 30 | 30.6666667 | 30.5 | 27 | |
| 50 | N/A | >100 | 30 | 1 | 11 | 2.81 | 0.35335689 | 3.88692528 | 1.68226038 | 50.722059 | 50 | 30 | 27.3333333 | 28 | 26.7142857 | |
| 51 | N/A | >100 | 22 | 1 | 11 | 2.83 | 0.35335689 | 3.88692528 | 1.68226038 | 50.722059 | 51 | 22 | 24 | 23.5 | 25.7142857 | |
| 52 | N/A | >100 | 20 | 1 | 11 | 2.83 | 0.35335689 | 3.88692528 | 1.68226038 | 50.722059 | 52 | 20 | 21.6666667 | 21.25 | 24.2857143 | |
| 53 | N/A | >100 | 23 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 53 | 23 | 22 | 22.25 | 23.8571429 | |
| 54 | N/A | >100 | 20 | 1 | 11 | 2.81 | 0.35335689 | 3.88692528 | 1.68226038 | 50.722059 | 54 | 20 | 22.6666667 | 22.75 | 23.8571429 | |
| 55 | N/A | >100 | 22 | 1 | 10 | 2.83 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 55 | 22 | 24 | 23.5 | 25 | |
| 56 | N/A | >100 | 27 | 1 | 10 | 2.83 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 56 | 27 | 26.3333333 | 26.5 | 25 | |
| 57 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.83 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 57 | 30 | 29 | 29.25 | 26 | |
| 58 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 58 | 30 | 26.6666667 | 27.75 | 27.7142857 | |
| 59 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 59 | 30 | 26.6666667 | 25 | 29.4285714 | |
| 60 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.83 | 0.35335689 | 3.5335689 | 1.68226038 | 53.1977443 | 60 | 30 | 28.3333333 | 28.75 | 29.8571429 | |
| 61 | N/A | >100 | 35 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 61 | 35 | 32.3333333 | 33 | 28.7142857 | |
| 62 | N/A | >100 | 32 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 62 | 32 | 33 | 33.75 | 28 | |
| 63 | N/A | >100 | 32 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 63 | 32 | 28.6666667 | 29.5 | 29.4285714 | |
| 64 | N/A | >100 | 32 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 64 | 32 | 26.3333333 | 25.25 | 29.2857143 | |
| 65 | N/A | >100 | 25 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 65 | 25 | 25.6666667 | 25.5 | 28.7142857 | |
| 66 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 66 | 30 | 28 | 28 | 28.7142857 | |
| 67 | N/A | >100 | 29 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 67 | 29 | 29 | 29.75 | 27.2857143 | |
| 68 | N/A | >100 | 31 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 68 | 31 | 30.6666667 | 30.75 | 29.5714286 | |
| 69 | N/A | >100 | 32 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 69 | 32 | 31 | 31.25 | 30.1428571 | |
| 70 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 70 | 30 | 30.6666667 | 30.5 | 30.1428571 | |
| 71 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 71 | 30 | 29.6666667 | 29.75 | 30.2857143 | |
| 72 | N/A | >100 | 29 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 72 | 29 | 29.6666667 | 29.5 | 30.1428571 | |
| 73 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 73 | 30 | 29.6666667 | 29.75 | 29.7142857 | |
| 74 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 74 | 30 | 30 | 30 | 29.7142857 | |
| 75 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 75 | 30 | 29.6666667 | 29.75 | 29.7142857 | |
| 76 | N/A | >100 | 29 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 76 | 29 | 29.6666667 | 29.5 | 29.4285714 | |
| 77 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 77 | 30 | 29.6666667 | 29.75 | 28.7142857 | |
| 78 | N/A | >100 | 30 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 78 | 30 | 29 | 29.25 | 28.1428571 | |
| 79 | N/A | >100 | 27 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 79 | 27 | 27.3333333 | 27.25 | 28.1428571 | |
| 80 | N/A | >100 | 25 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 80 | 25 | 26 | 25.75 | 27.2857143 | |
| 81 | N/A | >100 | 26 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 81 | 26 | 26.6666667 | 26.5 | 26.7142857 | |
| 82 | N/A | >100 | 29 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 82 | 29 | 26.3333333 | 27 | 26.4285714 | |
| 83 | N/A | >100 | 24 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 83 | 24 | 26 | 25.5 | 26.7142857 | |
| 84 | N/A | >100 | 24 | 1 | 10 | 2.81 | 0.35587189 | 3.55871886 | 1.67630546 | 53.0094331 | 84 | 24 | 25 | 25.75 | 27.8571429 | |
| 85 | N/A | >100 | 29 | 1 | 10 | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|----|----|------|-------------|-------------|------------|------------|-----|----|----|-----------|------------|------------|
| 147 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.81 | 1.42348754 | 4.27046263 | 0.83815273 | 48.3907705 | 147 | 30 | 33 | 32.25 | 32.7142857 | |
| 148 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.81 | 1.42348754 | 4.27046263 | 0.83815273 | 48.3907705 | 148 | 40 | 37 | 33.333333 | 38 | 32.4285714 |
| 149 | N/A | 42 | 4 | 12 | 2.81 | 1.42348754 | 4.27046263 | 0.83815273 | 48.3907705 | 149 | 42 | 37 | 33.333333 | 38.5 | 33.2857143 |
| 150 | N/A | 44 | 4 | 12 | 2.81 | 1.42348754 | 4.27046263 | 0.83815273 | 48.3907705 | 150 | 44 | 36 | 36.666667 | 33.5 | 33.4285714 |
| 151 | N/A | 32 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 151 | 32 | 30 | 30.666667 | 31 | 33.2857143 |
| 152 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 152 | 30 | 30 | 30.666667 | 30.5 | 33.8571429 |
| 153 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 153 | 30 | 29 | 29.666667 | 29.75 | 30.8571429 |
| 154 | N/A | 29 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 154 | 29 | 29 | 29.666667 | 29.5 | 31.4285714 |
| 155 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 155 | 30 | 31 | 31.333333 | 31 | 33.1428571 |
| 156 | N/A | 35 | 3 | 12 | 2.8 | 1.07142857 | 4.28571429 | 0.96609178 | 48.3045892 | 156 | 35 | 34 | 34.666667 | 34.75 | 34.5714286 |
| 157 | N/A | 39 | 3 | 12 | 2.8 | 1.07142857 | 4.28571429 | 0.96609178 | 48.3045892 | 157 | 39 | 37 | 37.666667 | 38 | 36 |
| 158 | N/A | 39 | 3 | 12 | 2.8 | 1.07142857 | 4.28571429 | 0.96609178 | 48.3045892 | 158 | 39 | 39 | 39.333333 | 39.25 | 37.4285714 |
| 159 | N/A | 40 | 3 | 12 | 2.8 | 1.07142857 | 4.28571429 | 0.96609178 | 48.3045892 | 159 | 40 | 39 | 39.666667 | 39.75 | 37.4285714 |
| 160 | N/A | 40 | 3 | 12 | 2.8 | 1.07142857 | 4.28571429 | 0.96609178 | 48.3045892 | 160 | 40 | 39 | 39.666667 | 39.75 | 37.4285714 |
| 161 | N/A | 39 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 161 | 39 | 36 | 36.333333 | 37 | 36.1428571 |
| 162 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 162 | 30 | 34 | 34.666667 | 32.5 | 25.5714286 |
| 163 | N/A | 35 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 163 | 35 | 31 | 31.666667 | 32.5 | 35.1428571 |
| 164 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 164 | 30 | 33 | 33.333333 | 32.5 | 34.8571429 |
| 165 | N/A | 35 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 165 | 35 | 34 | 34.25 | 34.4285714 | |
| 166 | N/A | 37 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 166 | 37 | 36 | 36.666667 | 35.75 | 24.4285714 |
| 167 | N/A | 38 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 167 | 38 | 37 | 37.25 | 33.8571429 | |
| 168 | N/A | 36 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 168 | 36 | 35 | 35.666667 | 35 | 36 |
| 169 | N/A | 30 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 169 | 30 | 32 | 32.333333 | 31.75 | 38.1428571 |
| 170 | N/A | 31 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 170 | 31 | 35 | 35.333333 | 34.25 | 38.5714286 |
| 171 | N/A | 45 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 171 | 45 | 42 | 42.75 | 38.7142857 | |
| 172 | N/A | 50 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 172 | 50 | 45 | 45.25 | 39.2857143 | |
| 173 | N/A | 40 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 173 | 40 | 43 | 43.25 | 40.4285714 | |
| 174 | N/A | 38 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 174 | 38 | 39 | 39.666667 | 39.5 | 39.4285714 |
| 175 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 175 | 40 | 39 | 39.25 | 40.2857143 | |
| 176 | N/A | 38 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 176 | 38 | 38 | 38.666667 | 38.5 | 38.8571429 |
| 177 | N/A | 38 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 177 | 38 | 37 | 37.666667 | 37.75 | 38.8571429 |
| 178 | N/A | 37 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 178 | 37 | 38 | 38.333333 | 38 | 39 |
| 179 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 179 | 40 | 39 | 39.25 | 39 | |
| 180 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 180 | 40 | 40 | 40 | 38.5714286 | |
| 181 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 181 | 40 | 40 | 40 | 38.8571429 | |
| 182 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 182 | 40 | 38 | 38.333333 | 38.75 | 38.5714286 |
| 183 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 183 | 40 | 38 | 38.333333 | 37.5 | 38.5714286 |
| 184 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 184 | 40 | 36 | 36.666667 | 37.5 | 38.5714286 |
| 185 | N/A | 35 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 185 | 35 | 38 | 38.333333 | 37.5 | 38.5714286 |
| 186 | N/A | 40 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 186 | 40 | 38 | 38.333333 | 38.75 | 38.5714286 |
| 187 | N/A | 40 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 187 | 40 | 40 | 40 | 40 | 38.5714286 |
| 188 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 188 | 40 | 40 | 40 | 39.5714286 | |
| 189 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 189 | 40 | 40 | 40 | 40 | 39.5714286 |
| 190 | N/A | 42 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 190 | 42 | 40 | 40.666667 | 41 | 40.5714286 |
| 191 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 191 | 40 | 40 | 40.666667 | 40.5 | 41 |
| 192 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 192 | 40 | 40 | 40.666667 | 40.5 | 41 |
| 193 | N/A | 42 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 193 | 42 | 41 | 41.666667 | 41.75 | 41 |
| 194 | N/A | 43 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 194 | 43 | 41 | 41.666667 | 42 | 40.7142857 |
| 195 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 195 | 40 | 41 | 40.75 | 41 | 40.75 |
| 196 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 196 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40.4285714 |
| 197 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 197 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 198 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 198 | 40 | 39 | 39.333333 | 39.5 | 39.4285714 |
| 199 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 199 | 40 | 39 | 38.75 | 39 | 38.75 |
| 200 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 200 | 40 | 38 | 38.666667 | 38.75 | 40.8571429 |
| 201 | N/A | 39 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 201 | 39 | 39 | 39.25 | 42.2857143 | |
| 202 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 202 | 40 | 43 | 42.25 | 44 | |
| 203 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 203 | 40 | 45 | 45.666667 | 47.5 | 45.8571429 |
| 204 | N/A | 50 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 204 | 50 | 50 | 50 | 50 | 46 |
| 205 | N/A | 52 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 205 | 52 | 51 | 51.25 | 45 | |
| 206 | N/A | 51 | 4 | 13 | 2.8 | 1.42857143 | 4.64285714 | 0.83666003 | 46.4095481 | 206 | 51 | 47 | 47.666667 | 48.5 | 44.1428571 |
| 207 | N/A | 40 | 4 | 12 | 2.8 | 1.42857143 | 4.28571429 | 0.83666003 | 48.3045892 | 207 | 40 | 41 | 40.75 | 42.7142857 | |
| 208 | N/A | 42 | 4 | 13 | 2.8 | 1.42857143 | 4.64285714 | 0.83666003 | 46.4095481 | 208 | 42 | 34 | 34.5 | 34.2857143 | |
| 209 | N/A | 34 | 5 | 13 | 2.8 | 1.78571429 | 4.64285714 | 0.74833148 | 46.4095481 | 209 | 34 | 35 | 35.333333 | 35 | 38.1428571 |
| 210 | N/A | 40 | 5 | 15 | 2.8 | 1.78571429 | 5.35714286 | 0.74833148 | 43.204938 | 210 | 40 | 38 | 38.5 | 34.8571429 | |
| 211 | N/A | 40 | 5 | 15 | 2.8 | 1.78571429 | 5.35714286 | 0.74833148 | 43.204938 | 211 | 40 | 36 | 36.666667 | 37.5 | 34.2857143 |
| 212 | N/A | 16 | 5 | 12 | 2.8 | 1.78571429 | 4.28571429 | 0.74833148 | 48.3045892 | 212 | 16 | 17 | 17.666667 | 17.5 | 17.666667 |
| 213 | N/A | 28 | 10 | 18 | 2.8 | 3.57142857 | 6.42857143 | 0.52915026 | 39.4405319 | 213 | 28 | 29 | 29.333333 | 29 | 36.4285714 |
| 214 | N/A | 30 | 10 | 18 | 2.8 | 3.57142857 | 6.42857143 | 0.52915026 | 39.4405319 | 214 | 30 | 35 | 33.75 | 35 | |
| 215 | N/A | 47 | 9 | 20 | 2.8 | 3.21428571 | 7.14285714 | 0.57773735 | 37.4165739 | 215 | 47 | 39 | 41 | 41 | 35 |
| 216 | N/A | 30 | 10 | 20 | 2.8 | 3.57142857 | 10.71428571 | 0.52915026 | 39.4405319 | 216 | 30 | 31 | 31.666667 | 31.5 | 38.5714286 |
| 217 | N/A | 30 | 20 | 20 | 2.8 | 7.14285714 | 7.85714286 | 0.37416574 | 35.6753034 | 217 | 30 | 36 | 36.666667 | 35 | 38.5714286 |
| 218 | N/A | 40 | 20 | 20 | 2.8 | 10.71428571 | 7.14285714 | 0.30550505 | 37.4165739 | 218 | 40 | 37 | 37.75 | 40 | |
| 219 | N/A | 41 | 20 | 20 | 2.8 | 7.14285714 | 7.14285714 | 0.37416574 | 37.4165739 | 219 | 41 | 41 | 41 | 41 | 40 |
| 220 | N/A | 42 | 20 | 20 | 2.8 | 7.14285714 | 7.85714286 | 0.30550505 | 37.4165739 | 220 | 42 | 41 | 41.25 | 41 | 40.25 |
| 221 | N/A | 40 | 20 | 20 | 2.8 | 3.57142857 | 7.14285714 | 0.52915026 | 37.4165739 | 221 | 40 | 43 | 42.25 | 41 | 41.2857143 |
| 222 | N/A | 47 | 11 | 18 | 2.8 | 3.92857143 | 6.42857143 | 0.50452498 | 39.4405319 | 222 | 47 | 42 | 42.333333 | 43.5 | 41 |
| 223 | N/A | 40 | 11 | 25 | 2.8 | 3.92857143 | 8.92857143 | 0.50452498 | 33.4664011 | 223 | 40 | 41 | 41.666667 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|-----|------------|------------|------------|------------|-----|----|------------|-------|------------|
| 296 | 53 | 40 | 60 | 2.8 | 14.2857143 | 21.4285714 | 0.26457513 | 21.602469 | 296 | 53 | 57.6666667 | 56.5 | 58.5714286 |
| 297 | 60 | 42 | 65 | 2.8 | 15 | 23.2142857 | 0.25819889 | 20.7549809 | 297 | 60 | 58.3333333 | 58.75 | 58.5714286 |
| 298 | 62 | 40 | 64 | 2.8 | 14.2857143 | 22.8571429 | 0.26457513 | 20.9160007 | 298 | 62 | 60.6666667 | 61 | |
| 299 | 60 | 40 | 65 | 2.8 | 14.2857143 | 23.2142857 | 0.26457513 | 20.7549809 | 299 | 60 | | | |
| 300 | 60 | 40 | 65 | 2.8 | 14.2857143 | 23.2142857 | 0.26457513 | 20.7549809 | 300 | 60 | | | |

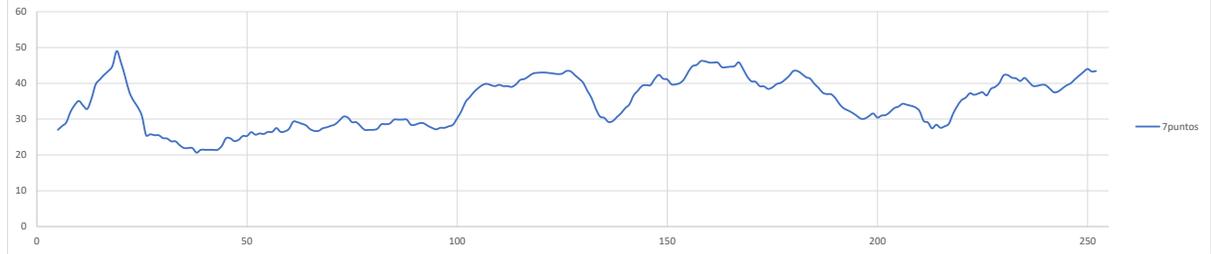
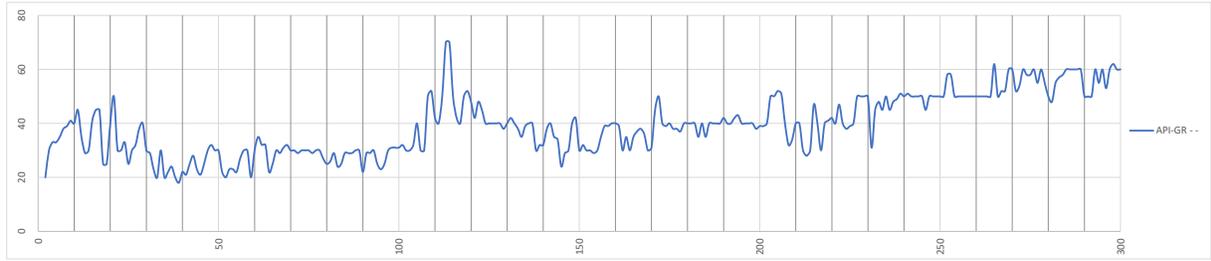
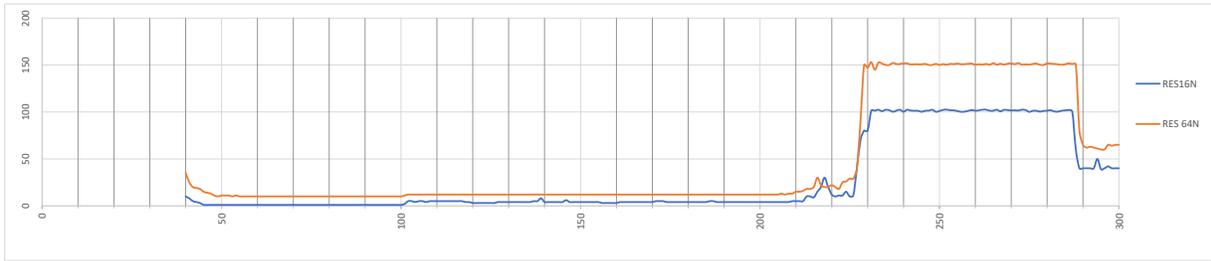
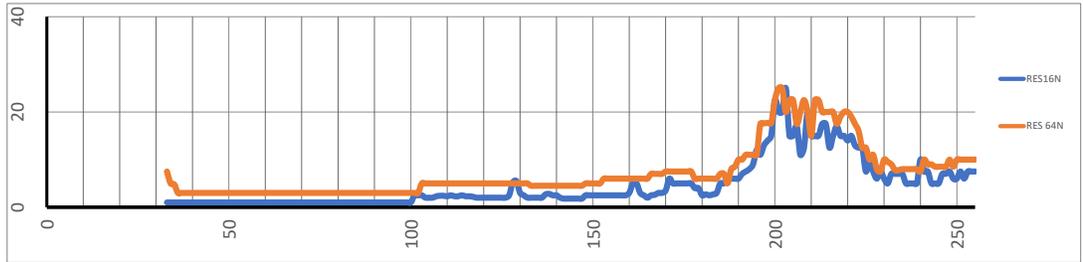
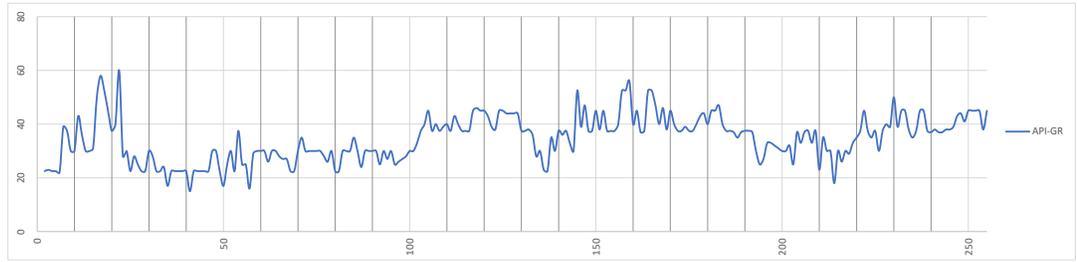


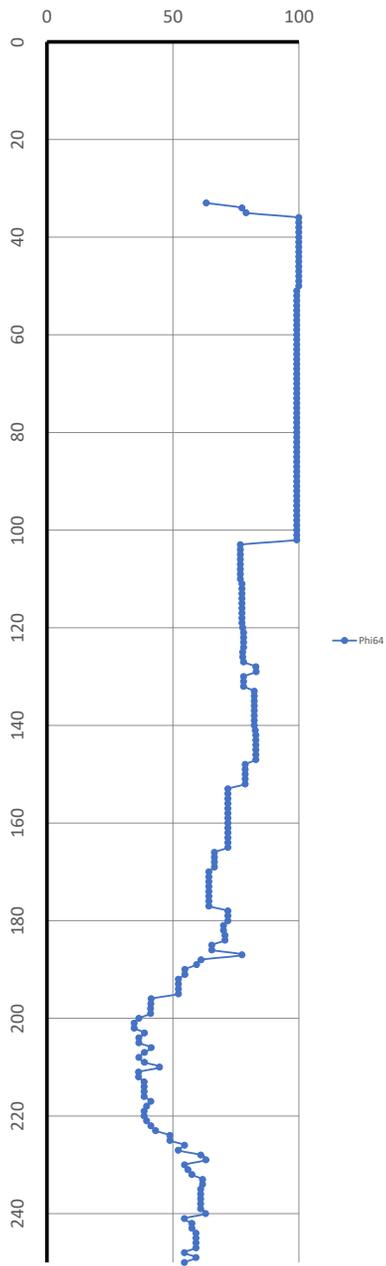
Cálculos con datos de registro de pozo 2

| Profundidad | Pozo no.2 Caracol | | API-GR | RES16N | RES 64N | RES (FL) | 7puntos | F16 | F64 | Phi16 | Phi64 |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|---------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | MV | OHM | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| 1 | - | >25 | | | | | | | | | |
| 2 | - | >25 | 22.5 | | | | | | | | |
| 3 | - | >25 | 23 | | | | | | | | |
| 4 | - | >25 | 22.5 | | | | | | | | |
| 5 | - | >25 | 22.5 | | | | 27 | | | | |
| 6 | - | >25 | 22 | | | | 28.0714286 | | | | |
| 7 | - | >25 | 39 | | | | 29.0714286 | | | | |
| 8 | - | >25 | 37.5 | | | | 32 | | | | |
| 9 | - | >25 | 30 | | | | 33.9285714 | | | | |
| 10 | - | >25 | 30 | | | | 35.0714286 | | | | |
| 11 | 20 | >25 | 43 | | | | 33.7857143 | | | | |
| 12 | - | >25 | 36 | | | | 32.8571429 | | | | |
| 13 | - | >25 | 30 | | | | 35.7142857 | | | | |
| 14 | - | >25 | 30 | | | | 39.7142857 | | | | |
| 15 | - | >25 | 31 | | | | 41.0714286 | | | | |
| 16 | - | >25 | 50 | | | | 42.3571429 | | | | |
| 17 | - | >25 | 58 | | | | 43.4285714 | | | | |
| 18 | - | >25 | 52.5 | | | | 44.8571429 | | | | |
| 19 | - | >25 | 45 | | | | 49 | | | | |
| 20 | - | >25 | 37.5 | | | | 45.8571429 | | | | |
| 21 | - | >25 | 40 | | | | 41.8571429 | | | | |
| 22 | - | >25 | 60 | | | | 37.5714286 | | | | |
| 23 | - | >25 | 28 | | | | 35.1428571 | | | | |
| 24 | -30 | >25 | 30 | | | | 33.3571429 | | | | |
| 25 | 0 | >25 | 22.5 | | | | 30.8571429 | | | | |
| 26 | -20 | 25 | 28 | | | | 25.5 | | | | |
| 27 | -22 | 24 | 25 | | | | 25.7857143 | | | | |
| 28 | -20 | 24 | 22.5 | | | | 25.5 | | | | |
| 29 | -18 | 23 | 22.5 | | | | 25.5 | | | | |
| 30 | -15 | 22 | 30 | | | | 24.7142857 | | | | |
| 31 | -20 | 22 | 28 | | | | 24.5714286 | | | | |
| 32 | 0 | 20 | 22.5 | | | | 23.7857143 | | | | |
| 33 | -10 | 10 | 22.5 | 1 | 7.5 | 3 | 23.7857143 | 0.33333333 | 2.5 | 1.73205081 | 63.2455532 |
| 34 | -10 | 10 | 24 | 1 | 5 | 3 | 22.7142857 | 0.33333333 | 1.66666667 | 1.73205081 | 77.4596669 |
| 35 | -10 | 10 | 17 | 1 | 4.8 | 3 | 21.9285714 | 0.33333333 | 1.6 | 1.73205081 | 79.0569415 |
| 36 | -5 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.9285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 37 | -5 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.9285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 38 | -15 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 20.6428571 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 39 | -20 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.4285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 40 | -10 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.4285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 41 | -5 | 10 | 15 | 1 | 3 | 3 | 21.4285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 42 | 0 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.4285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 43 | -10 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 21.4285714 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 44 | -18 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 22.5 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 45 | -22 | 10 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 24.6428571 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 46 | -23 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 24.6428571 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 47 | -24 | 11 | 30 | 1 | 3 | 3 | 23.8571429 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 48 | -30 | 11 | 30 | 1 | 3 | 3 | 24.2142857 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 49 | -38 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 3 | 25.2857143 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 50 | -37 | 11 | 17 | 1 | 3 | 3 | 25.2857143 | 0.33333333 | 1 | 1.73205081 | 100 |
| 51 | -30 | 11 | 25 | 1 | 3 | 2.95 | 26.3571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 52 | -10 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 25.6428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 53 | -20 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 2.95 | 26 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 54 | 0 | 11 | 37.5 | 1 | 3 | 2.95 | 25.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 55 | -18 | 11 | 25 | 1 | 3 | 2.95 | 26.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 56 | -20 | 11 | 25 | 1 | 3 | 2.95 | 26.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 57 | -35 | 11 | 16 | 1 | 3 | 2.95 | 27.5 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 58 | -35 | 11 | 29 | 1 | 3 | 2.95 | 26.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 59 | -40 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 26.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 60 | -35 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 27.2857143 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 61 | -20 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.2857143 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 62 | -35 | 11 | 26 | 1 | 3 | 2.95 | 29.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 63 | -35 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.7142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 64 | -33 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.2857143 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 65 | -20 | 11 | 28 | 1 | 3 | 2.95 | 27.2142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 66 | -20 | 11 | 27 | 1 | 3 | 2.95 | 26.7142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 67 | -25 | 11 | 27 | 1 | 3 | 2.95 | 26.7142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 68 | -33 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 2.95 | 27.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 69 | -20 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 2.95 | 27.7142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 70 | -10 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 71 | -10 | 11 | 35 | 1 | 3 | 2.95 | 28.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 72 | -15 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.6428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 73 | -15 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 30.7142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 74 | -15 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 30.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 75 | -15 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 76 | -22 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 77 | -35 | 11 | 28 | 1 | 3 | 2.95 | 28.0714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 78 | -30 | 11 | 26 | 1 | 3 | 2.95 | 27 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 79 | -23 | 11 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 27 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 80 | -23 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 2.95 | 27 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 81 | -20 | 11 | 22.5 | 1 | 3 | 2.95 | 27.2857143 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 82 | -23 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 83 | -18 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 84 | -18 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.7857143 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 85 | -18 | 12 | 35 | 1 | 3 | 2.95 | 29.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 86 | -20 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 87 | -22 | 12 | 24 | 1 | 3 | 2.95 | 29.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 88 | -20 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 29.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 89 | -10 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 90 | -8 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 91 | -10 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 92 | -10 | 12 | 25 | 1 | 3 | 2.95 | 28.8571429 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 93 | -13 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 28.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 94 | -15 | 12 | 27 | 1 | 3 | 2.95 | 27.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 95 | -5 | 12 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 27.1428571 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 96 | -3 | 12 | 25 | 1 | 3 | 2.95 | 27.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 97 | | 12.1 | 26 | 1 | 3 | 2.95 | 27.5714286 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 98 | | 12.4 | 27 | 1 | 3 | 2.95 | 28 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 99 | | 12.3 | 28 | 1 | 3 | 2.95 | 28.4285714 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 100 | 0 | 12.5 | 30 | 1 | 3 | 2.95 | 30.2142857 | 0.33898305 | 1.01694915 | 1.7175564 | 99.1631652 |
| 101 | 20 | 12.5 | 30 | 2.5 | 3 | 2.95 | 32.2142857 | 0.84745763 | 1.01694915 | 1.08627805 | 99.1631652 |
| 102 | 33 | 12.5 | 33 | 2.5 | 3 | 2.95 | 34.7857143 | 0.84745763 | 1.01694915 | 1.08627805 | 99.1631652 |
| 103 | 35 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 2.95 | 36.1428571 | 0.84745763 | 1.69491525 | 1.08627805 | 76.8114575 |
| 104 | 35 | 12.5 | 40 | 2 | 5 | 2.95 | 37.5714286 | 0.6779661 | 1.69491525 | 1.21449578 | 76.8114575 |
| 105 | 40 | 12 | 45 | 2 | 5 | 2.95 | 38.6428571 | 0.6779661 | 1.69491525 | 1.21449578 | 76.8114575 |
| 106 | 40 | 12 | 37.5 | 2 | 5 | 2.95 | 39.5 | 0.6779661 | 1.69491525 | 1.21449578 | 76.8114575 |
| 107 | 40 | 12 | 40 | 2.3 | 5 | 2.95 | 39.8571429 | 0.77966102 | 1.69491525 | 1.13252315 | 76.8114575 |
| 108 | 40 | 12.5 | 37.5 | 2.4 | 5 | 2.95 | 39.5 | 0.81355932 | 1.69491525 | 1.10867789 | 76.8114575 |
| 109 | 40 | 12.5 | 39 | 2.4 | 5 | 2.95 | 39.2142857 | 0.81355932 | 1.69491525 | 1.10867789 | 76.8114575 |
| 110 | 40 | 12.5 | 40 | 2.3 | 5 | 2.95 | 39.5714286 | 0.77966102 | 1.69491525 | 1.13252315 | 76.8114575 |
| 111 | 20 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 3 | 39.2142857 | 0.83333333 | 1.66666667 | 1.09544512 | 77.4596669 |
| 112 | 35 | 12.5 | 43 | 2.3 | 5 | 3 | 39.2142857 | 0.76666667 | 1.66666667 | 1.14208048 | 77.4596669 |
| 113 | 35 | 12.5 | 40 | 2.3 | 5 | 3 | 39 | 0.76666667 | 1.66666667 | 1.14208048 | 77.4596669 |
| 114 | 25 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 3 | 39.7142857 | 0.83333333 | 1.66666667 | 1.09544512 | 77.4596669 |
| 115 | 20 | 12.5 | 37.5 | 2.3 | 5 | 3 | 40.9285714 | 0.76666667 | 1.66666667 | 1.14208048 | 77.4596669 |
| 116 | 30 | 12.5 | 37.5 | 2.3 | 5 | 3 | 41.2142857 | 0.76666667 | 1.66666667 | 1.14208048 | 77.4596669 |
| 117 | 40 | 12.5 | 45 | 2.2 | 5 | 3 | 41.9285714 | 0.73333333 | 1.66666667 | 1.16774842 | 77.4596669 |
| 118 | 40 | 12.5 | 46 | 2 | 5 | 3 | 42.7142857 | 0.66666667 | 1.66666667 | 1.22474487 | 77.4596669 |
| 119 | 40 | 12 | 45 | 2 | 5 | 3 | 42.9285714 | 0.66666667 | 1.66666667 | 1.22474487 | 77.4596669 |
| 120 | 40 | 12 | 45 | 2 | 5 | 3.02 | 43 | 0.66225166 | 1.65562914 | 1.22882057 | 77.7174369 |
| 121 | 40 | 12 | 43 | 2 | 5 | 3.05 | 43 | 0.6557377 | 1.63934426 | 1.2349089 | 78.1024968 |
| 122 | 40 | 12 | 39 | 2 | 5 | 3.05 | 42.8571429 | 0.6557377 | 1.63934426 | 1.2349089 | 78.1024968 |
| 123 | 30 | 12.5 | 38 | 2 | 5 | 3.05 | 42.7142857 | 0.6557377 | 1.63934426 | 1.2349089 | 78.1024968 |
| 124 | 30 | 12.5 | 45 | 2 | 5 | 3.05 | 42.5714286 | 0.6557377 | 1.63934426 | 1.2349089 | 78.1024968 |
| 125 | 30 | 12.5 | 45 | 2 | 5 | 3.02 | 42.7142857 | 0.66225166 | 1.65562914 | 1.22882057 | 77.7174369 |
| 126 | 5 | 12.5 | 44 | 2 | 5 | 3.02 | 43.4285714 | 0.66225166 | 1.65562914 | 1.22882057 | 77.7174369 |
| 127 | -10 | 12.5 | 44 | 2.5 | 5 | 3.05 | 43.3571429 | 0.81967213 | 1.63934426 | 1.1045361 | 78.1024968 |
| 128 | 0 | 15 | 44 | 5.2 | 5 | 3.44 | 42.2857143 | 1.51162791 | 1.45348837 | 0.81335015 | 82.9457654 |
| 129 | 0 | 12.5 | 44 | 5.5 | 5 | 3.45 | 41.2857143 | 1.5942029 | 1.44927536 | 0.79200551 | 83.0662386 |
| 130 | 20 | 12.5 | 37.5 | 3 | 5 | 3.05 | 40.1428571 | 0.98360656 | 1.63934426 | 1.0082989 | 78.1024968 |
| 131 | 5 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 3.05 | 37.8571429 | 0.81967213 | 1.63934426 | 1.1045361 | 78.1024968 |
| 132 | 20 | 12 | 38 | 2 | 5 | 3.05 | 35.8571429 | 0.6557377 | 1.63934426 | 1.2349089 | 78.1024968 |
| 133 | 15 | 12.5 | 36 | 2 | 4.5 | 3.05 | 32.8571429 | 0.6557377 | 1.47540984 | 1.2349089 | 82.3272602 |
| 134 | 5 | 12.5 | 28 | 2 | 4.5 | 3.05 | 30.7142857 | 0.6557377 | 1.47540984 | 1.2349089 | 82.3272602 |
| 135 | 5 | 12.5 | 30 | 2 | 4.5 | 3.05 | 30.3571429 | 0.6557377 | 1.47540984 | 1.2349089 | 82.3272602 |
| 136 | 5 | 12 | 23 | 2 | 4.5 | 3.05 | 29.2142857 | 0.6557377 | 1.47540984 | 1.2349089 | 82.3272602 |
| 137 | 3 | 12.5 | 22.5 | 2.7 | 4.5 | 3.05 | 29.4285714 | 0.8852459 | 1.47540984 | 1.06284036 | 82.3272602 |
| 138 | 5 | 12.5 | 35 | 2.8 | 4.5 | 3.05 | 30.5714286 | 0.91803279 | 1.47540984 | 1.04368851 | 82.3272602 |
| 139 | 0 | 12.5 | 30 | 2.5 | 4.5 | 3.05 | 31.6428571 | 0.81967213 | 1.47540984 | 1.1045361 | 82.3272602 |
| 140 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 4.5 | 3.05 | 33.0714286 | 0.81967213 | 1.47540984 | 1.1045361 | 82.3272602 |
| 141 | 10 | 12.5 | 36 | 2 | 4.5 | 3.08 | 34.1428571 | 0.64935065 | 1.46103896 | 1.24096736 | 82.7311576 |
| 142 | 0 | 12.5 | 37.5 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 36.6428571 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 143 | 5 | 12.5 | 33 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 37.9285714 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 144 | 0 | 12.5 | 30 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 39.2857143 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 145 | 8 | 12.5 | 52.5 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 39.5 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 146 | 10 | 12.5 | 39 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 39.5 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 147 | 5 | 12.5 | 47 | 1.8 | 4.5 | 3.1 | 41.2142857 | 0.58064516 | 1.4516129 | 1.31233465 | 82.9993307 |
| 148 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 3.1 | 42.3571429 | 0.80645161 | 1.61290323 | 1.11355287 | 78.7400787 |
| 149 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 5 | 3.1 | 41.2857143 | 0.80645161 | 1.61290323 | 1.11355287 | 78.7400787 |
| 150 | 10 | 12.5 | 45 | 2.5 | 5 | 3.1 | 41.0714286 | 0.80645161 | 1.61290323 | 1.11355287 | 78.7400787 |
| 151 | 8 | 12.5 | 38 | 2.5 | 5 | 3.1 | 39.7142857 | 0.80645161 | 1.61290323 | 1.11355287 | 78.7400787 |
| 152 | 0 | 12.5 | 45 | 2.5 | 5 | 3.1 | 39.7142857 | 0.80645161 | 1.61290323 | 1.11355287 | 78.7400787 |
| 153 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 40.0714286 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 154 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 41.1428571 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 155 | 10 | 12.5 | 37.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 43.2142857 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 156 | 10 | 12.5 | 40 | 2.5 | 6 | 3.1 | 44.7857143 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 157 | 12 | 12.5 | 52.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 45.1428571 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 158 | 10 | 12.5 | 52.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 46.2142857 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 159 | 8 | 12.5 | 56 | 2.5 | 6 | 3.1 | 46.1428571 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 160 | 5 | 13 | 40 | 3 | 6 | 3.1 | 45.7857143 | 0.96774194 | 1.93548387 | 1.01653005 | 71.8795288 |
| 161 | 5 | 13 | 45 | 5 | 6 | 3.1 | 45.7857143 | 1.61290323 | 1.93548387 | 0.78740079 | 71.8795288 |
| 162 | 5 | 14 | 37 | 5 | 6 | 3.1 | 45.7857143 | 1.61290323 | 1.93548387 | 0.78740079 | 71.8795288 |
| 163 | 5 | 12.5 | 37.5 | 3 | 6 | 3.1 | 44.5 | 0.96774194 | 1.93548387 | 1.01653005 | 71.8795288 |
| 164 | 10 | 12.5 | 52.5 | 2.5 | 6 | 3.1 | 44.5 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 165 | 12 | 12.5 | 52.5 | 2 | 6 | 3.1 | 44.6428571 | 0.64516129 | 1.93548387 | 1.24498996 | 71.8795288 |
| 166 | 15 | 12.5 | 47 | 2.5 | 7 | 3.1 | 44.7857143 | 0.80645161 | 2.25806452 | 1.11355287 | 66.5475126 |
| 167 | 18 | 13 | 40 | 2.6 | 7 | 3.1 | 45.8571429 | 0.83870968 | 2.25806452 | 1.09192843 | 66.5475126 |
| 168 | 18 | 13 | 46 | 3 | 7 | 3.1 | 44.0714286 | 0.96774194 | 2.25806452 | 1.01653005 | 66.5475126 |
| 169 | 17 | 13 | 38 | 3 | 7 | 3.1 | 41.9285714 | 0.96774194 | 2.25806452 | 1.01653005 | 66.5475126 |
| 170 | 17 | 12.5 | 45 | 3.5 | 7.5 | 3.1 | 40.5714286 | 1.12903226 | 2.41935484 | 0.94112395 | 64.2910051 |
| 171 | 15 | 13 | 40 | 6 | 7.5 | 3.1 | 40.4285714 | 1.93548387 | 2.41935484 | 0.71879529 | 64.2910051 |
| 172 | 10 | 13 | 37.5 | 5 | 7.5 | 3.1 | 39.2142857 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 173 | 10 | 13 | 37.5 | 5 | 7.5 | 3.1 | 39.1428571 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 174 | 8 | 13 | 39 | 5 | 7.5 | 3.1 | 38.4285714 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 175 | 8 | 13 | 37.5 | 5 | 7.5 | 3.1 | 38.8571429 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 176 | 8 | 13 | 37.5 | 5 | 7.5 | 3.1 | 39.7857143 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 177 | 8 | 13 | 40 | 5 | 7.5 | 3.1 | 40.1428571 | 1.61290323 | 2.41935484 | 0.78740079 | 64.2910051 |
| 178 | 7 | 13 | 43 | 4 | 6 | 3.1 | 41 | 1.29032258 | 1.93548387 | 0.88034084 | 71.8795288 |
| 179 | 6 | 12.5 | 44 | 4 | 6 | 3.1 | 42.0714286 | 1.29032258 | 1.93548387 | 0.88034084 | 71.8795288 |
| 180 | 5 | 12.5 | 40 | 2.5 | 6 | 3.1 | 43.4285714 | 0.80645161 | 1.93548387 | 1.11355287 | 71.8795288 |
| 181 | 5 | 12.5 | 45 | 2.7 | 6 | 2.95 | 43.4285714 | 0.91525424 | 2.03389831 | 1.04527154 | 70.1189466 |
| 182 | 5 | 12.5 | 45 | 2.5 | 6 | 2.95 | 42.6428571 | 0.84745763 | 2.03389831 | 1.08627805 | 70.1189466 |
| 183 | 5 | 12.5 | 47 | 2.7 | 6 | 3 | 41.7142857 | 0.9 | 2 | 1.05409255 | 70.7106781 |
| 184 | 8 | 12.5 | 40 | 3 | 6 | 3 | 41.2857143 | 1 | 2 | 1 | 70.7106781 |
| 185 | 5 | 12.5 | 37.5 | 5 | 7 | 3 | 39.8571429 | 1.66666667 | 2.33333333 | 0.77459667 | 65.4653671 |
| 186 | 7 | 12.5 | 37.5 | 5 | 7 | 3 | 38.7142857 | 1.66666667 | 2.33333333 | 0.77459667 | 65.4653671 |
| 187 | 10 | 12.5 | 37 | 6 | 5 | 3 | 37.3571429 | 2 | 1.66666667 | 0.70710678 | 77.4596669 |
| 188 | 10 | 12.5 | 35 | 6 | 8 | 3 | 37 | 2 | 2.66666667 | 0.70710678 | 61.2372436 |
| 189 | 8 | 13 | 37 | 6 | 8.5 | 3 | 36.9285714 | 2 | 2.83333333 | 0.70710678 | 59.4088526 |
| 190 | 8 | 13 | 37.5 | 6 | 10 | 3 | 35.8571429 | 2 | 3.33333333 | 0.70710678 | 54.7722558 |
| 191 | 10 | 13 | 37.5 | 7 | 10 | 3 | 34.1428571 | 2.33333333 | 3.33333333 | 0.65465367 | 54.7722558 |
| 192 | 10 | 13.5 | 37 | 7.5 | 11 | 3 | 33 | 2.5 | 3.66666667 | 0.63245553 | 52.2232968 |
| 193 | 10 | 13.5 | 30 | 8 | 11 | 3 | 32.4285714 | 2.66666667 | 3.66666667 | 0.61237244 | 52.2232968 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|----|------|------|------|------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 200 | 5 | 20 | 30 | 22.5 | 22.5 | 3 | 30.4285714 | 7.5 | 7.5 | 0.36514837 | 36.5148372 |
| 201 | 10 | 17 | 30 | 20 | 25 | 3 | 31 | 6.66666667 | 8.33333333 | 0.38729833 | 34.6410162 |
| 202 | 10 | 17 | 32 | 20 | 25 | 3 | 31.1428571 | 6.66666667 | 8.33333333 | 0.38729833 | 34.6410162 |
| 203 | 10 | 17 | 25 | 25 | 20 | 3 | 32 | 8.33333333 | 6.66666667 | 0.34641016 | 38.7298335 |
| 204 | 10 | 17 | 37 | 15 | 22.5 | 3 | 33.0714286 | 5 | 7.5 | 0.4472136 | 36.5148372 |
| 205 | 8 | 15 | 33 | 15 | 22.5 | 3 | 33.5 | 5 | 7.5 | 0.4472136 | 36.5148372 |
| 206 | 8 | 17 | 37 | 17 | 17.5 | 3 | 34.2857143 | 5.66666667 | 5.83333333 | 0.42008403 | 41.4039336 |
| 207 | 8 | 15 | 37.5 | 11 | 20 | 3 | 34 | 3.66666667 | 6.66666667 | 0.52223297 | 38.7298335 |
| 208 | 8 | 15 | 33 | 12.5 | 22.5 | 3 | 33.7142857 | 4.16666667 | 7.5 | 0.48989795 | 36.5148372 |
| 209 | 8 | 22.5 | 37.5 | 20 | 20 | 3 | 33.2857143 | 6.66666667 | 6.66666667 | 0.38729833 | 38.7298335 |
| 210 | 8 | 16 | 23 | 15 | 15 | 3 | 32.2857143 | 5 | 5 | 0.4472136 | 44.7213595 |
| 211 | 8 | 15 | 35 | 15 | 22.5 | 2.98 | 29.5 | 5.03355705 | 7.55033557 | 0.44572039 | 36.3929175 |
| 212 | 8 | 17 | 30 | 15 | 22.5 | 2.98 | 29.0714286 | 5.03355705 | 7.55033557 | 0.44572039 | 36.3929175 |
| 213 | 7 | 17 | 30 | 17.5 | 20 | 2.98 | 27.4285714 | 5.87248322 | 6.7114094 | 0.4126569 | 38.6005181 |
| 214 | 7 | 17 | 18 | 17.5 | 20 | 2.98 | 28.4285714 | 5.87248322 | 6.7114094 | 0.4126569 | 38.6005181 |
| 215 | 10 | 15 | 30 | 12.5 | 20 | 2.98 | 27.5714286 | 4.19463087 | 6.7114094 | 0.48826222 | 38.6005181 |
| 216 | 10 | 16 | 26 | 15 | 20 | 2.98 | 28 | 5.03355705 | 6.7114094 | 0.44572039 | 38.6005181 |
| 217 | 10 | 17 | 30 | 17 | 17.5 | 2.98 | 28.7142857 | 5.70469799 | 5.87248322 | 0.4186814 | 41.2656897 |
| 218 | 10 | 15 | 29 | 15 | 19 | 2.98 | 31.5 | 5.03355705 | 6.37583893 | 0.44572039 | 39.603296 |
| 219 | 9 | 16 | 33 | 15 | 20 | 2.98 | 33.6428571 | 5.03355705 | 6.7114094 | 0.44572039 | 38.6005181 |
| 220 | 10 | 17 | 35 | 14 | 20 | 2.98 | 35.2857143 | 4.69798658 | 6.7114094 | 0.46136444 | 38.6005181 |
| 221 | 10 | 18 | 37.5 | 15 | 19 | 2.98 | 36 | 5.03355705 | 6.37583893 | 0.44572039 | 39.603296 |
| 222 | 10 | 15 | 45 | 13 | 17.5 | 2.98 | 37.2142857 | 4.36241611 | 5.87248322 | 0.4787805 | 41.2656897 |
| 223 | 10 | 15 | 37.5 | 12.5 | 16 | 2.98 | 36.7857143 | 4.19463087 | 5.36912752 | 0.48826222 | 43.1566913 |
| 224 | 8 | 17 | 35 | 12.5 | 12.5 | 2.98 | 37.1428571 | 4.19463087 | 4.19463087 | 0.48826222 | 48.8262225 |
| 225 | 16 | 15 | 37.5 | 7.5 | 12.5 | 2.98 | 37.5 | 2.51677852 | 4.19463087 | 0.63034382 | 48.8262225 |
| 226 | 18 | 15 | 30 | 10 | 10 | 2.99 | 36.6428571 | 3.34448161 | 3.34448161 | 0.54680892 | 54.6808925 |
| 227 | 20 | 12.5 | 37.5 | 7.5 | 11 | 2.99 | 38.4285714 | 2.5083612 | 3.67892977 | 0.63140056 | 52.1361853 |
| 228 | 20 | 12.5 | 40 | 6 | 8 | 2.99 | 39 | 2.00668896 | 2.67558528 | 0.70592729 | 61.1350963 |
| 229 | 18 | 15 | 39 | 7.5 | 7.5 | 2.99 | 40.0714286 | 2.5083612 | 2.5083612 | 0.63140056 | 63.140056 |
| 230 | 22 | 12.5 | 50 | 6 | 10 | 2.99 | 42.2142857 | 2.00668896 | 3.34448161 | 0.70592729 | 54.6808925 |
| 231 | 21 | 12.5 | 39 | 5 | 9.5 | 2.98 | 42.2857143 | 1.67785235 | 3.18791946 | 0.77201036 | 56.0075183 |
| 232 | 20 | 12.5 | 45 | 7 | 9 | 2.98 | 41.5714286 | 2.34899329 | 3.02013423 | 0.65246784 | 57.542255 |
| 233 | 20 | 15 | 45 | 7 | 7.8 | 2.98 | 41.3571429 | 2.34899329 | 2.61744966 | 0.65246784 | 61.810297 |
| 234 | 20 | 12.5 | 38 | 7 | 7.8 | 2.98 | 40.6428571 | 2.34899329 | 2.61744966 | 0.65246784 | 61.810297 |
| 235 | 20 | 12.5 | 35 | 7 | 8 | 2.98 | 41.5 | 2.34899329 | 2.68456376 | 0.65246784 | 61.0327781 |
| 236 | 20 | 12.5 | 37.5 | 5 | 8 | 2.98 | 40.4285714 | 1.67785235 | 2.68456376 | 0.77201036 | 61.0327781 |
| 237 | 20 | 12.5 | 45 | 5 | 8 | 2.98 | 39.2857143 | 1.67785235 | 2.68456376 | 0.77201036 | 61.0327781 |
| 238 | 20 | 12.5 | 45 | 5 | 8 | 2.98 | 39.2857143 | 1.67785235 | 2.68456376 | 0.77201036 | 61.0327781 |
| 239 | 20 | 13 | 37.5 | 5 | 8 | 2.98 | 39.5714286 | 1.67785235 | 2.68456376 | 0.77201036 | 61.0327781 |
| 240 | 18 | 14 | 37 | 10 | 7.5 | 2.98 | 39.5 | 3.3557047 | 2.51677852 | 0.54589376 | 63.0343822 |
| 241 | 20 | 12.5 | 38 | 7.5 | 10 | 2.98 | 38.5 | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |
| 242 | 18 | 13 | 37 | 7.5 | 9 | 2.98 | 37.5 | 2.51677852 | 3.02013423 | 0.63034382 | 57.542255 |
| 243 | 20 | 12.5 | 37 | 5 | 9 | 2.98 | 37.7142857 | 1.67785235 | 3.02013423 | 0.77201036 | 57.542255 |
| 244 | 20 | 12.5 | 38 | 5 | 8.5 | 2.98 | 38.5714286 | 1.67785235 | 2.85234899 | 0.77201036 | 59.2104919 |
| 245 | 20 | 12.5 | 38 | 5 | 8.5 | 2.98 | 39.4285714 | 1.67785235 | 2.85234899 | 0.77201036 | 59.2104919 |
| 246 | 19 | 13 | 39 | 7 | 8.5 | 2.98 | 40 | 2.34899329 | 2.85234899 | 0.65246784 | 59.2104919 |
| 247 | 18 | 15 | 43 | 7 | 8.5 | 2.98 | 41.1428571 | 2.34899329 | 2.85234899 | 0.65246784 | 59.2104919 |
| 248 | 18 | 12.5 | 44 | 7.5 | 10 | 2.98 | 42.1428571 | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |
| 249 | 18 | 15 | 41 | 6 | 8.5 | 2.98 | 43.1428571 | 2.01342282 | 2.85234899 | 0.70474582 | 59.2104919 |
| 250 | 18 | 15 | 45 | 6 | 10 | 2.98 | 44 | 2.01342282 | 3.3557047 | 0.70474582 | 54.5893763 |
| 251 | 20 | 14 | 45 | 7.5 | 10 | 2.98 | 43.2857143 | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |
| 252 | 17 | 15 | 45 | 6 | 10 | 2.98 | 43.4285714 | 2.01342282 | 3.3557047 | 0.70474582 | 54.5893763 |
| 253 | 18 | 15 | 45 | 7.5 | 10 | 2.98 | | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |
| 254 | 17 | 12.5 | 38 | 7.5 | 10 | 2.98 | | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |
| 255 | 40 | 15 | 45 | 7.5 | 10 | 2.98 | | 2.51677852 | 3.3557047 | 0.63034382 | 54.5893763 |





Anexo III. Memoria de cálculos y análisis hidrogeoquímico

| Muestra: | | Base 1 | | | |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|--|
| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l | |
| Na | 134.00 | 22.99 | 1 | 5.82862114 | |
| K | 21.5 | 39.098 | 1 | 0.54990025 | |
| Mg | 39.9 | 24.305 | 2 | 3.28327505 | |
| Ca | 31.2 | 40.078 | 2 | 1.55696392 | |
| Cl | 222 | 35.453 | -1 | 6.26181141 | |
| SO4 | 28.8 | 96.062 | -2 | 0.59961275 | |
| HCO3 | 356.9 | 61.0159 | -1 | 5.84929502 | |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 | |
| NO3 | 1.3 | 62.01 | -1 | 0.02096436 | |
| Si-SiO3 | 40.4 | 76.082 | -2 | 1.06201204 | |
| Li | 0.084 | 6.941 | 1 | 0.012102 | |
| Sr | 0.4500 | 87.62 | 2 | 0.01027163 | |
| Mn | 0.0570 | 54.938 | 2 | 0.00207507 | |
| Fe | 0.4100 | 55.845 | 2 | 0.0146835 | |
| Br | 0.0007 | 79.904 | -1 | 8.7605E-06 | |
| Ba | 0.1490 | 137.327 | 2 | 0.00217 | |
| F | 0.0001 | 18.998 | -1 | 5.2637E-06 | |
| Al | 0.0870 | 26.982 | 3 | 0.00967312 | |
| As | 0.0047 | 74.92 | -3 | 0.0001882 | |
| SDT | 877.24 | | | | |
| SDT reportado | 880 | | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 31.20 | 39.9 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | | |
|------------------|-------------|----|----------------|-----|---------------|------------|---------------|
| | 78.00 mg/l | Ca | | %Na | 56.8558485 | Permisible | |
| | 163.59 mg/l | Mg | 241.59 mg/l | CE | 1260 micoS/cm | Permisible | Permisible |
| Suma de cationes | 11.27 | | | | | | |
| | | | Balance | | | | |
| Suma de aniones | 12.73 | | iónico | | | | |
| | | | | | | | -6.091 |

Muestra: Base 2

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 140.00 | 22.99 | 1 | 6.08960418 |
| K | 22.6 | 39.098 | 1 | 0.57803468 |
| Mg | 41.4 | 24.305 | 2 | 3.40670644 |
| Ca | 32.5 | 40.078 | 2 | 1.62183742 |
| Cl | 223 | 35.453 | -1 | 6.29001777 |
| SO4 | 28.7 | 96.062 | -2 | 0.59753076 |
| HCO3 | 380.6 | 61.0159 | -1 | 6.23771837 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 0.6 | 14.01 | -1 | 0.04282655 |
| Si-SiO3 | 44.5 | 28.08 | -2 | 3.16951567 |
| Li | 0.091 | 6.941 | 1 | 0.0131105 |
| Sr | 0.4700 | 87.62 | 2 | 0.01072814 |
| Mn | 0.0600 | 54.938 | 2 | 0.00218428 |
| Fe | 0.4200 | 55.845 | 2 | 0.01504163 |
| Br | 0.0006 | 79.904 | -1 | 7.509E-06 |
| Ba | 0.1570 | 137.327 | 2 | 0.00228651 |
| F | 0.0001 | 18.998 | -1 | 5.2637E-06 |
| Al | 0.0620 | 26.982 | 3 | 0.00689348 |
| As | 0.0056 | 74.92 | | 0 |
| SDT | 915.17 | | | |
| SDT reportado | 880 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 32.50 | 41.4 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | | |
|------------------|-------------|----|----------------|-----|---------------|------------|---------------|
| | 81.25 mg/l | Ca | | %Na | 57.0069656 | Permisible | |
| | 169.74 mg/l | Mg | 250.99 mg/l | CE | 1259 micoS/cm | Permisible | Permisible |
| Suma de cationes | 11.75 | | | | | | |
| | | | Balance | | | | |
| Suma de aniones | 13.17 | | iónico | | | | |
| | | | | | | | -5.706 |

Muestra: Mezcla 1

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 141.00 | 22.99 | 1 | 6.13310135 |
| K | 23.3 | 39.098 | 1 | 0.59593841 |
| Mg | 41.8 | 24.305 | 2 | 3.43962148 |
| Ca | 34.4 | 40.078 | 2 | 1.71665253 |
| Cl | 232 | 35.453 | -1 | 6.54387499 |
| SO4 | 29.6 | 96.062 | -2 | 0.61626866 |
| HCO3 | 359.9 | 61.0159 | -1 | 5.89846253 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 0.7 | 14.01 | -1 | 0.04996431 |
| Si-SiO3 | 47.3 | 28.08 | -2 | 3.36894587 |
| Li | 0.094 | 6.941 | 1 | 0.01354272 |
| Sr | 0.4800 | 87.62 | 2 | 0.0109564 |
| Mn | 0.0582 | 54.938 | 2 | 0.00211875 |
| Fe | 0.5600 | 55.845 | 2 | 0.02005551 |
| Br | 0.0006 | 79.904 | -1 | 7.509E-06 |
| Ba | 0.1710 | 137.327 | 2 | 0.00249041 |
| F | 0.0002 | 18.998 | -1 | 1.0527E-05 |
| Al | 0.2040 | 26.982 | 3 | 0.02268179 |
| As | 0.0065 | 74.92 | | 0 |
| SDT | 911.57 | | | |
| SDT reportado | 900 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 34.40 | 41.8 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|------------------|-------|-----------------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| 86.00 mg/l | Ca | | %Na | 56.6164251 | Permissible | |
| 171.38 mg/l | Mg | 257.38 mg/l | Dura | CE | 1289 micoS/cm | Permissible |
| Suma de cationes | 11.96 | | | | | |
| Suma de aniones | 13.11 | Balance iónico | -4.594 | | | |

Muestra: Mezcla 2

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 136.00 | 22.99 | 1 | 5.91561548 |
| K | 22.2 | 39.098 | 1 | 0.56780398 |
| Mg | 41.2 | 24.305 | 2 | 3.39024892 |
| Ca | 33.6 | 40.078 | 2 | 1.67673038 |
| Cl | 222 | 35.453 | -1 | 6.26181141 |
| SO4 | 28.3 | 96.062 | -2 | 0.58920281 |
| HCO3 | 363 | 61.0159 | -1 | 5.94926896 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 0.8 | 14.01 | -1 | 0.05710207 |
| Si-SiO3 | 44.8 | 28.08 | -2 | 3.19088319 |
| Li | 0.091 | 6.941 | 1 | 0.0131105 |
| Sr | 0.4700 | 87.62 | 2 | 0.01072814 |
| Mn | 0.0565 | 54.938 | 2 | 0.00205686 |
| Fe | 0.6400 | 55.845 | 2 | 0.02292058 |
| Br | 0.0006 | 79.904 | -1 | 7.509E-06 |
| Ba | 0.1670 | 137.327 | 2 | 0.00243215 |
| F | 0.0001 | 18.998 | -1 | 5.2637E-06 |
| Al | 0.2850 | 26.982 | 3 | 0.03168779 |
| As | 0.0061 | 74.92 | -3 | 0.00024426 |
| SDT | 893.62 | | | |
| SDT reportado | 870 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 33.60 | 41.2 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|------------------|-------|-----------------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| 84.00 mg/l | Ca | | %Na | 56.1315639 | Permissible | |
| 168.92 mg/l | Mg | 252.92 mg/l | Dura | CE | 1242 micoS/cm | Permissible |
| Suma de cationes | 11.63 | | | | | |
| Suma de aniones | 12.86 | Balance iónico | -4.998 | | | |

Muestra: Mezcla 3

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 136.00 | 22.99 | 1 | 5.91561548 |
| K | 22 | 39.098 | 1 | 0.56268863 |
| Mg | 40.5 | 24.305 | 2 | 3.3326476 |
| Ca | 33.2 | 40.078 | 2 | 1.6567693 |
| Cl | 221 | 35.453 | -1 | 6.23360505 |
| SO4 | 28.5 | 96.062 | -2 | 0.59336678 |
| HCO3 | 350.8 | 61.0159 | -1 | 5.74932108 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 1 | 14.01 | -1 | 0.07137759 |
| Si-SiO3 | 44.5 | 28.08 | -2 | 3.16951567 |
| Li | 0.091 | 6.941 | 1 | 0.0131105 |
| Sr | 0.4700 | 87.62 | 2 | 0.01072814 |
| Mn | 0.0565 | 54.938 | 2 | 0.00205686 |
| Fe | 0.6000 | 55.845 | 2 | 0.02148805 |
| Br | 0.0007 | 79.904 | -1 | 8.7605E-06 |
| Ba | 0.1690 | 137.327 | 2 | 0.00246128 |
| F | 0.0001 | 18.998 | -1 | 5.2637E-06 |
| Al | 0.2060 | 26.982 | 3 | 0.02290416 |
| As | 0.0062 | 74.92 | -3 | 0.00024826 |
| SDT | 879.10 | | | |
| SDT reportado | 875 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 33.20 | 40.5 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|------------------|-------|-----------------------|---------------|------------|---------------|------------------------------|
| 83.00 mg/l | Ca | | %Na | 56.4916438 | Permisible | |
| 166.05 mg/l | Mg | 249.05 mg/l | Dura | CE | 1251 micoS/cm | Permisible Permisible |
| Suma de cationes | 11.54 | | | | | |
| Suma de aniones | 12.65 | Balance iónico | -4.578 | | | |

Muestra: Acui 1

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 5,029.00 | 22.99 | 1 | 218.747281 |
| K | 86 | 39.098 | 1 | 2.199601 |
| Mg | 1090.6 | 24.305 | 2 | 89.7428513 |
| Ca | 732.6 | 40.078 | 2 | 36.5587105 |
| Cl | 10419 | 35.453 | -1 | 293.882041 |
| SO4 | 177.5 | 96.062 | -2 | 3.69552997 |
| HCO3 | 1734.2 | 61.0159 | -1 | 28.4220998 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 3.1 | 14.01 | -1 | 0.22127052 |
| Si | - | 28.08 | | |
| SDT | 19,272.00 | | | |
| SDT reportado | 22540 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 732.60 | 1090.6 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|------------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|-------------------|------------------------|
| 1,831.50 mg/l | Ca | | %Na | 63.627897 | Dudosa aplicación | |
| 4,471.46 mg/l | Mg | 6,302.96 mg/l | Muy dura | CE | 34900 micoS/cm | No apta No Apta |
| Suma de cationes | 347.25 | | | | | |
| Suma de aniones | 326.22 | Balance iónico | 3.1223 | | | |

Muestra: Acui 2

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 5,299.00 | 22.99 | 1 | 230.491518 |
| K | 84.8 | 39.098 | 1 | 2.1689089 |
| Mg | 1024.8 | 24.305 | 2 | 84.3283275 |
| Ca | 736.4 | 40.078 | 2 | 36.7483407 |
| Cl | 10304.1 | 35.453 | -1 | 290.641131 |
| SO4 | 177.5 | 96.062 | -2 | 3.69552997 |
| HCO3 | 1672.6 | 61.0159 | -1 | 27.4125269 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 4.4 | 14.01 | -1 | 0.31406138 |
| Si | - | 28.08 | | |
| SDT | 19,303.60 | | | |
| SDT reportado | 22475 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 736.40 | 1024.8 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|---------------|----|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|------------------------|
| 1,841.00 mg/l | Ca | | | %Na | 65.7721314 | Dudosa aplicación |
| 4,201.68 mg/l | Mg | 6,042.68 mg/l | Muy dura | CE | 34900 microS/cm | No apta No Apta |

Suma de cationes 353.74

Suma de aniones 322.06 **Balance iónico 4.6869**

Muestra: Acui 3

| | mg/l (tabla) | g/mol | Charge | meq/l |
|---------------|-----------------|---------|--------|------------|
| Na | 5,444.80 | 22.99 | 1 | 236.833406 |
| K | 90.8 | 39.098 | 1 | 2.32236943 |
| Mg | 1065.6 | 24.305 | 2 | 87.6856614 |
| Ca | 740.1 | 40.078 | 2 | 36.9329807 |
| Cl | 10419 | 35.453 | -1 | 293.882041 |
| SO4 | 192.5 | 96.062 | -2 | 4.00782828 |
| HCO3 | 1687.9 | 61.0159 | -1 | 27.6632812 |
| CO3 | 0 | 60.01 | | 0 |
| NO3 | 3.5 | 14.01 | -1 | 0.24982156 |
| Si | - | 28.08 | | |
| SDT | 19,644.20 | | | |
| SDT reportado | 22730 | | | |

| | Ca | Mg |
|-------|--------|--------|
| mg/l | 740.10 | 1065.6 |
| g/mol | 40.078 | 24.305 |

Cálculo de Dureza

| | | | | | | |
|---------------|----|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|------------------------|
| 1,850.25 mg/l | Ca | | | %Na | 65.7428791 | Dudosa aplicación |
| 4,368.96 mg/l | Mg | 6,219.21 mg/l | Muy dura | CE | 34900 microS/cm | No apta No Apta |

Suma de cationes 363.77

Suma de aniones 325.80 **Balance iónico 5.5065**