

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Desarrollo tecnológico y generación de riqueza sustentable

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de apoyo al desarrollo tecnológico de la industria



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

4E06 – Apoyo al desarrollo tecnológico de la industria
Cuantificación de elementos potencialmente tóxicos y otros analitos en
suelos colindantes con fuentes geotérmicas en el Bosque La Primavera

PRESENTA

Ingeniería Química: Isidro Darío González Casillas (PAP II)

Profesor y responsable del PAP: Dr. Fernando Hernández Ramírez

Tlaquepaque, Jalisco, Diciembre de 2018

ÍNDICE

Índice de Gráficos.....	2
Índice de tablas	2
Índice de ilustraciones	3
REPORTE PAP	5
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional.....	5
Resumen	5
1. Introducción.....	6
1.1. Objetivos.....	6
1.2. Justificación.....	6
1.3 Antecedentes.....	7
1.4. Contexto	9
2. Desarrollo	11
2.1. Sustento teórico y metodológico	11
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	23
3. Resultados del trabajo profesional.....	46
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	60
5. Conclusiones.....	63
Agradecimientos.....	65
6. Bibliografía.....	65

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Titulación potenciométrica característica para mezcla de cloruros y bromuros	50
Gráfico 2: Titulación potenciométrica para verificar la presencia de bromuros y cloruros	51
Gráfico 3: Curva de calibración del cobre por el método del carbamato.....	51
Gráfico 4: Curva de titulación para valoración del titulante de NaF.....	53
Gráfico 5: Curva de titulación para la cuantificación de aluminio en la muestra 1 de fuentes geotérmicas	54
Gráfico 6: Curva de titulación para corroborar la ausencia de aluminio en las muestras. ..	55
Gráfico 7: Curva de calibración para cuantificación de fluoruros con ISE	56
Gráfico 8: Variación de voltaje del ISE de Ca^{2+} sin buffer iónico	58
Gráfico 9: Variación de voltaje del ISE de Ca^{2+} con buffer iónico.....	58
Gráfico 10: Variación de voltaje del ISE de Cl^- sin buffer iónico.....	59
Gráfico 11: Variación de voltaje del ISE de Cl^- con buffer iónico	59

Índice de tablas

Tabla 1: Recursos utilizados para el proyecto.	25
Tabla 2: Reacciones características de distintos analitos de interés.	37
Tabla 3: Temperaturas de las fuentes geotérmicas	46
Tabla 4: propiedades físicas de las muestras de suelo.....	47
Tabla 5: Resultados de análisis cualitativo de las muestras de las fuentes geotérmicas, de la digestión total.	48
Tabla 6: Concentración de potasio en cada suelo en ppm/g suelo seco	52

Tabla 7: Concentración de fluoruros en cada suelo en ppm/g suelo seco	56
---	----

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Polígono afectado por incendio en mayo de 2008 en imagen Landsat TM del 27 de Mayo de 2008 (RGB 7,4,2). Elaboró el maestro Hugo de Alba.	10
Ilustración 2: Resumen marcha analítica de cationes (Vogel A. I., 1969)	18
Ilustración 3: ejemplo de una titulación potenciométrica (Trujillo-Piña, Vega Sánchez, & Barajas Bermúdez, 2014).....	19
Ilustración 4: curva de titulación característica para la determinación por separado de los cloruros y los bromuros. (Metrohm, 2011).....	20
Ilustración 5: reacción complejométrica del Al^{+3} con el F^- . (Radic, Prugo, & Bralic, 1988) ..	21
Ilustración 6: Curva típica de titulación de aluminio con fluoruros. (Hanson & Smetana, 1975).....	22
Ilustración 7: Molécula de carbamato de cobre (dietilditiocarbamato de cobre) (Lu Cheng & Bray, 1953)	22
Ilustración 8: Perspectiva general de la ubicación de los pozos en la zona metropolitana.	27
Ilustración 9: Ubicación particular de los pozos de salida de vapores de fuentes geotérmicas.	28
Ilustración 10: Fotografía en sitio de las muestras de suelo empacadas.....	29
Ilustración 11: Fotografía pozo 1.....	29
Ilustración 12: Fotografía pozo 2.....	30
Ilustración 13: Fotografía pozo 3.....	30
Ilustración 14: Toma de muestra en suelos aledaños	31

Ilustración 15: Extracción acuosa	32
Ilustración 16: : Extracción con solución extractora de Carolina del Norte	33
Ilustración 17: Digestión ácida	34
Ilustración 18: Diagrama de proceso de medición de humedad, orgánicos volátiles y cenizas. Elaborado por Kenneth Larios	36
Ilustración 19: Prueba cualitativa de reacción gota a gota en placa de porcelana.....	38
Ilustración 20: Equipo de sulfridación de muestras	39
Ilustración 21: Prueba cualitativa positiva de presencia de estaño.	39
Ilustración 22: Extracción de carbamato de cobre.....	42
Ilustración 23: Prueba cualitativa positiva de presencia de cobre.....	43
Ilustración 24: Medición de fluoruros con ISE.....	45
Ilustración 25: Pruebas de ISE vernier de Ca^{2+} y Cl^-	46

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

En el siguiente reporte se muestran los resultados obtenidos en el proyecto PAP: Cuantificación de elementos potencialmente tóxicos y otros analitos en suelos colindantes con fuentes geotérmicas en el Bosque la Primavera. Los resultados presentados se dividen en 3 partes principales, el cual consiste en resultados de propiedades físicas y fisicoquímicas de los suelos, en los cuales encontramos que las fuentes tienen temperaturas de alrededor de 60°C, lo que lo coloca como una fuente geotérmica de baja temperatura, también se pudo ver que los suelos son muy pobres en materia orgánica, menores a 1%, pero este número crece en los suelos aledaños de manera significativa. Se presentan también los resultados obtenidos con el análisis cualitativo, donde destacan la presencia de cobre y estaño en gran cantidad, así como la ausencia de boratos. Por último pero no menos importante están los análisis cuantitativos, donde destaca la ausencia de aluminio, el cual se creía que estaba presente en las muestras por falsos positivos obtenidos en trabajos anteriores, así pues se muestran las cantidades presentes fluoruros, los cuales son pequeñas, pero

considerables en las extracciones acuosas, ya que son las que están en los límites permisibles ambientales, se muestran también los resultados para la cuantificación de cobre, el cual solo está presente en las fuentes geotérmicas, y que están dentro de los límites permisibles.

1. Introducción

1.1. Objetivos

Objetivo general del proyecto: Desarrollar metodologías de análisis químico para cuantificar elementos potencialmente tóxicos (EPT) y otros analitos de interés en suelos colindantes con fuentes geotérmicas, en particular aquellas situadas en el predio Planillas en el Bosque la Primavera.

Objetivos particulares:

- Desarrollar metodologías de análisis químico para cuantificar elementos potencialmente tóxicos (EPT) y otros analitos de interés en suelos colindantes con fuentes geotérmicas, en particular aquellas situadas en el predio Planillas en el Bosque la Primavera.
- Determinación cualitativa de presencia de cationes (marcha analítica, reacciones características), y aniones (reacciones características).
- Determinación cuantitativa de los analitos: fluoruros, halogenuros totales, cobre, aluminio.
- Determinar propiedades físicas y fisicoquímicas como: humedad, cenizas, materia orgánica, temperatura de pozos geotérmicos.

1.2. Justificación

Una de las preocupaciones de los grupos ambientalistas con respecto a la exploración geotérmica tiene que ver con la composición de las aguas provenientes de este tipo de fuentes. La explotación de los mantos acuíferos puede generar filtraciones desde mantos geotérmicos, que contienen minerales en gran cantidad y que pueden ser peligrosos a la salud, causando enfermedades crónico- incapacitantes. La presencia de

boratos, sulfatos, arsénico, fluoruros y fosfatos en aguas geotérmicas está ampliamente documentada, [(Zelada Quán, 2014) (Liu, 2015) (Geothermal Communities , 2017) (Wanyonyi, 2014) (Hodder), (Gendenjamts, 2003) (Criaud & Fouillac, 1989) (Kiara, 2015)] aunque la información específica para el BLP es escasa [(Hochstein, Brotheridge, & Simmons, 1995) (Welch, 1999)]. Como ejemplo para reflexionar, en fechas recientes se ha detectado una alta incidencia de padecimientos renales en el municipio de Poncitlán, Jalisco, atribuidos a la distribución de agua termal no adecuada para el uso diario en las redes de agua del poblado [(Partida, La Jornada :Atenderán a enfermos renales en Poncitlán. , 2017) (Partida, Exigen atender en Poncitlán casos de fallo renal por agua envenenada: La Jornada, 2017) (EL INFORMADOR, 2016) (Sandoval-Moreno & Ochoa-Ocaña, 2010)]. Por lo tanto, existe una posibilidad real de contaminación de la provisión de agua potable del AMG a consecuencia de la explotación geotérmica. La posibilidad de afectación es mayor en los grupos económicamente más vulnerables, que no tienen acceso a fuentes alternas de agua de calidad. Con este proyecto esperamos obtener información preliminar sobre la composición de los suelos en tres fuentes geotérmicas localizadas en el predio Planillas, y con ello contribuir al debate sobre la viabilidad de la explotación geotérmica en el Bosque la Primavera.

1.3 Antecedentes

A principios de 2017, profesores e investigadores de distintos departamentos del ITESO prepararon el proyecto “Evaluación de variables ambientales en los polígonos del ITESO en el Bosque la Primavera”. Dicho proyecto se sometió a concurso y resultó favorecido con fondos para la investigación, quedando su realización bajo la dirección del asesor de este PAP, el doctor Fernando Hernández Ramírez (Hernández, y otros, 2017).

El proyecto global involucra a varios departamentos del ITESO, como el Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano (DHU), el Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática (DESI) y el Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (DPTI). El alcance temporal del proyecto global es de año y medio, iniciando en agosto de 2017 y terminando en diciembre de 2018.

Dicho proyecto tiene como objetivo general obtener un conocimiento integral del polígono del ITESO en el Bosque la Primavera por medio de la medición y análisis de variables ambientales, abordando el problema desde distintas disciplinas de la ingeniería. Las actividades fundamentales incluyen: análisis químicos para cuantificar contaminantes en aguas, suelos y emisiones de vapor procedentes de fuentes geotérmicas; creación de un sendero interpretativo en el bosque que permita realizar actividades de difusión y conocimiento para la sociedad; realizar mapeos georreferenciados de especies vegetales emblemáticas, tales como orquídeas, agaves y cactáceas; desarrollo de protocolos para la multiplicación in vitro de dichas especies; generar conocimiento sobre la infiltración de agua en el bosque; medición de variables ambientales en suelo, agua y aire por medio de sensores electrónicos, y fotogrametría por medio de drones para cuantificar la recuperación del bosque en el polígono.

Entonces, se puede ver que una parte del proyecto implica la cuantificación de analitos en suelos provenientes de la vecindad de fuentes geotérmicas, en particular aquellas que se encuentran en el predio conocido como Planillas, al cual tiene acceso el ITESO. Este proyecto PAP abona precisamente a este objetivo. En el semestre de primavera 2018 se encuentran cuatro estudiantes trabajando en la cuantificación de distintos analitos provenientes de los suelos de tres fuentes geotérmicas localizadas en Planillas.

En la primavera del 2018 como parte de este PAP, se hicieron varios análisis cualitativos, de los cuales, haciendo un extracto breve, se obtuvo que los suelos que se analizaron son en su mayoría suelos arcillosos, a excepción del suelo 3 que es un suelo arenoso, todos los suelos contienen cantidades muy bajas de nitrógeno, y son muy pobres en cuanto a materia orgánica. Se hicieron análisis de hierro, el cual está presente en gran cantidad, al igual que los sulfatos y fosfatos que se encuentran arriba en concentraciones de 1000 ppm. Se obtuvo un resultado no concluyente de una prueba cualitativa para aluminio. Se llevaron a cabo pruebas también para arsénico, el cual se encontró, pero en bajas cantidades, pero que son parámetro que considerar por lo toxicidad de este analito. Las pruebas realizadas para K sodio y potasio mostraron que el potasio está en mayor cantidad que el sodio, teniendo potasio alrededor de 300 y 400 ppm y sodio en cantidades no mayores a 100ppm, estos

valores serán de ayuda para definir los niveles de salinidad de este suelo. Se cuantifico también manganeso, mostrando que está en cantidades considerables en el suelo, de más de 500 ppm. Se hicieron pruebas para cuantificar calcio y magnesio, pero con gran incertidumbre, por lo que es necesario hacer más análisis para estos analitos. Lo más curiosos que se observó en todos los análisis, es que ninguno de los suelos se parece ni siquiera en el color a pesar de que las fuentes de donde se sacaron no están separadas por más de 10 m.

1.4. Contexto

El Bosque la Primavera es un área natural protegida que se encuentra ubicada en los municipios de Tala, Zapopan, y Tlajomulco de Zúñiga, en el Estado de Jalisco. Constituye la reserva ecológica más grande y cercana al Área Metropolitana de Guadalajara (AMP) (Bosque La Primavera , 2017). Desde 1980 se establece como Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre, por decreto federal. El programa para su manejo como área natural protegida fue publicado en el año 2000 y dado a conocer el siguiente año en el Diario Oficial de la Federación (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP),, 2000). Su reconocimiento como Reserva de la Biósfera por la UNESCO dentro del programa MaB Hombre y Biósfera data del año 2006. [(Blog Anillo Primavera., 2017) (Red Arquitectura, 2012)]A pesar de ser una reserva de la biósfera, no cuenta con zona de amortiguamiento y se encuentra constantemente amenazada por incendios forestales, presencia de desarrollos inmobiliarios en su vecindad inmediata, e intereses políticos y económicos, ya que la tenencia de la tierra se encuentra en manos de particulares y sólo una pequeña parte es propiedad del Gobierno del Estado de Jalisco (Bosque La Primavera , 2017).

Los polígonos del ITESO fueron donados por Don Cástulo Romero junto a los polígonos de las otras Universidades para que se preservaran, en la región que se conoce como Planillas-Sur. Sin embargo, intereses personales propiciaron la devastación, logrando que en mayo de 2008 se incendiaran los polígonos de las Universidades, quedando prácticamente reducidos a cenizas. En esta zona el ITESO cuenta con 6.7 ha, que en la actualidad están en mejores condiciones que sus vecinos. Ver ilustración 1

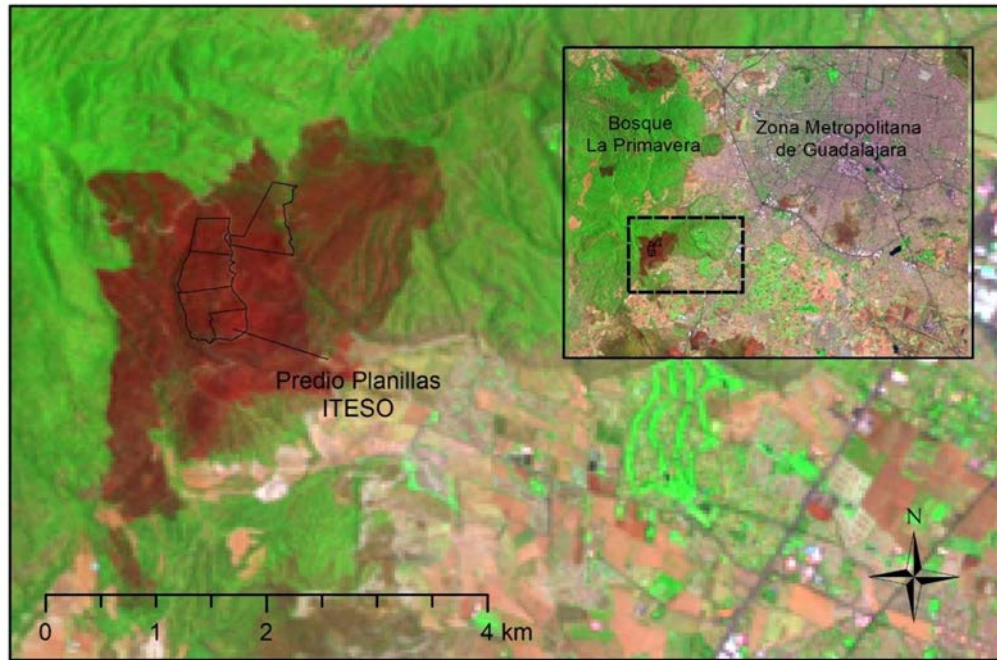


Ilustración 1: Polígono afectado por incendio en mayo de 2008 en imagen Landsat TM del 27 de Mayo de 2008 (RGB 7,4,2). Elaboró el maestro Hugo de Alba.

Posteriormente, al ITESO le dona el mismo señor Cástulo Romero otro terreno de aproximadamente 24 ha que se localiza en la región de Planillas (más arriba que el llamado Planillas Sur). Este terreno está en muy buenas condiciones, ya que afortunadamente hace casi 20 años que no se incendia. Sin embargo, con la creación de leyes propiciando la explotación de fuentes de energía renovable (El Informador, 2008), se encuentra amenazado por la probabilidad de que se perfore con fines de generación de energía a partir de geotermia. Para obtener energía de esta naturaleza, se obtiene el vapor que conlleva disueltos elementos potencialmente tóxicos, que pueden ser un riesgo grande de contaminación de los acuíferos que son una de las fuentes de aprovisionamiento para el AMG. Por lo que se debe ponderar cantidad de energía calculada vs. riesgo a la salud de millones de habitantes de la zona.

Respecto a la ubicación de las instalaciones donde se llevará a cabo el proyecto, se trabajará en los laboratorios del ITESO y en los polígonos que están bajo su custodia en el Bosque la Primavera.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

En este proyecto está basado en términos generales en el análisis de suelos, por lo cual se tuvo que consultar las técnicas y la metodología usada que abarcaba desde la toma y el tratamiento de muestras, así como también ya de manera específica los métodos de análisis más usados para la cuantificación de los analitos de interés. Para la toma y tratamiento de muestras, al ser algo nuevo se investigó en manuales y libros de edafología así como también en normas los cuales marcan las pautas para realizar las actividades ya mencionadas, la literatura menciona que la toma de muestras de suelo debe ser aleatoria y representativa, para esto se debe de cuadrar un área, y segmentarla, seguido de esto tomar muestras aleatorias de ciertos puntos del área que se cuadro (Arteta, 2003). La profundidad del muestreo se determina en función del objetivo que se persigue, ya que nos es la misma profundidad si el muestro es para un terreno done hay pastizales, que para uno donde haya árboles frutales, por esto es importante saber a qué profundidad se harán el muestre, tomando en cuenta también que la superficie donde se tome la muestra, debe estar despejada de cualquier residuo orgánico sin descomponerse, dígase cualquier tipo de hojarasca, ramas, raíces, insectos o algún animal muerto, además de rocas que se encuentre en la superficie (Diario Oficial de la Federación, 2002). En este proyecto no se tenía el objetivo de hacer análisis de un área grande de terreno, sino que sino más bien se perseguía hacer análisis del suelo donde se encuentran las fuentes geotérmicas en Bosque de La Primavera. Ya se tenían muestras sacadas directamente de las fuentes geotérmicas, así que, para poder hacer un análisis mejor, y poder tener una referencia de que tan diferente es la composición de los suelos de las fuentes geotérmicas, también se hizo muestreo en suelos aledaños a esta, para poder tener un punto de comparación, que, si bien no será del todo significativo, sí nos dará un punto de referencia para la comparación, y que servirá mucho para trabajos futuro.

Cuando se toma una muestra de suelo, se deben de tener cuidados, y se le debe dar cierto tratamiento, para que los resultados obtenidos sean los más cercanos a la realidad posible, y no tengamos perturbaciones en nuestras mediciones, para esto los manuales de análisis de suelo, recomiendan depositar las muestras tomadas en empaques herméticos, y que se procure tenerlos a una temperatura de preferencia entre los 5° y 10°, para evitar que nuestra tierra pierda analitos y elementos de interés, esto también se evitara, manteniendo las muestras en un lugar donde no esté expuesta a cambios bruscos de temperatura. (Benton Jones, 2001)

Se tienen las muestras que se extrajeron, pero para poder analizarla es necesario darle un tratamiento previo, este tratamiento implica remover la humedad contenida en la muestra, y esto se puede hacer de dos maneras, ya se dejándola que se seque al aire libre, procurando en este caso dejarla lejos de sustancias o partículas que la puedan contaminar, lo que podría provocar tener resultados falsos a la hora de hacer nuestro análisis. La otra opción es poner nuestra muestra de tierra en una estufa de desecación a una temperatura que puede variar entre los 40° y 60°C, incluso sería permisible llegar a los 70°, pero no es lo óptimo. Se busca que el secado se en este rango de temperatura, ya que a mayores temperaturas se podrían perder analitos que pueden ser deseables medir. (Eliason, Goos, & Hoskins, 2015). Cualquiera de los dos métodos de secado es adecuado, cada quien decide cual hacer, la diferencia más grande es que el secado en estufa tiene una duración de horas dependiendo de la humedad del suelo, y el secado al ambiente tiene una duración de varios días.

El tratamiento de los suelos no termina aquí, ya que a pesar de que ya se secó, aún podríamos tener presencia de elementos externos indeseables, que podrían ser residuos de plantas de pequeño tamaño, o bien algunas rocas las cuales es necesario remover, además de que las partículas de suelo son grandes, lo que provocaría que la cuantificación de algunos analitos este limitado, o que su liberación sea más difícil. Para esto se necesitan hacer dos operaciones más con nuestro suelo, una de ellas es reducir el tamaño de partícula, lo cual se puede realizar de buena manera en un mortero, y después de esto tamizar nuestro suelo molido en un tamiz del número 10 al menos, con esto se reduce el

tamaño de partícula y se obtiene un tamaño ideal para hacer todo el muestreo posterior, además que se retiran partículas indeseables que meterían error a las mediciones (Eliason, Goos, & Hoskins, 2015). Después de todo el proceso de molienda y tamizado es de vital importancia mantener la muestra resultante en un ambiente controlado y contenida en un empaque hermético para no perder ningún analito al ambiente, y que a su vez no se contamine con agentes externos.

Con la muestra ya lista para usarse, está ya puede someterse a los análisis que se demanden, dependiendo del análisis es si se usara directamente nuestra muestra de suelo ya con todo el tratamiento mencionado, o si se le hace otro tratamiento más, y más que nada esto dependerá del análisis que se valla hacer, si es un análisis físico, comúnmente se utiliza nuestra tierra sin ningún otro tratamiento, y si se hace un análisis químico donde se busque la cuantificación de algún analito de interés, se necesita hacer un tratamiento más, estas son extracciones de los analitos con alguna solución extractora o en ocasiones solo con agua, o bien hasta una digestión total, esto dependerá de si se quiere cuantificar un analito soluble en agua, soluble en un medio ácido o básico, o si se quiere cuantificar el total de cierto analito en la muestra a tratar. En el caso de hacer pruebas cualitativas, también dependiendo de la prueba que se vaya a hacer, será el tratamiento que se dará, ya que hay pruebas cualitativas que se pueden hacer directamente en los suelos, y hay otras que, si necesitan tener una solución de la misma muestra, logrando esto con una digestión acida, o bien con algún tipo de extracción (ácida, acuosa)

En los siguientes párrafos se presentará el fundamento de los procesos y métodos utilizados para los análisis físicos y fisicoquímicos que se hicieron en el proyecto, y posterior a esto, también se abordara en que consistió el tratamiento que se les dios a las muestras para los análisis químicos, así como las bases metodológicas de los anteriores.

La humedad es uno de los parámetros físicos más importantes en el suelo, es por esto que su medición es de vital importancia. El método utilizado es un método gravimétrico, y busca remover toda la cantidad de agua posible contenida en la muestra de suelo, trabajando a temperaturas cercanas a los 105°, esto para remover el agua que queda atrapada o retenida por el suelo ya se por absorción del mismo, o porque alguno de los compuestos presentes

en el suelo retiene humedad, ya sea por quimisorción o porque algunos compuestos son coloides, o bien por su área superficial, ya que estos factores propician que cierta cantidad de agua se retenga en el suelo, es por eso que se trabaja también a esta temperatura, ya que si se calienta a una temperatura más alta, se tendrían pérdidas de materia orgánica lo cual se tomaría en la medición erróneamente como agua, la cual no es. Aún a pesar de esto hay cierta cantidad de agua que puede quedar en el suelo, pero la mayoría se va en este proceso. La humedad total se obtiene por la diferencia de pesos del de muestra, antes y después de ser sometido al proceso ya mencionado. (Pansu & Gautheyrou, 2006). La humedad que puede quedar que ciertamente es muy poca, queda atrapada por los silicatos o aluminosilicatos los cuales tienen estructuras tan tridimensionales rígidas, formas por la unión de moléculas tetraédricas, pero a su vez son porosas, con tamaño de poro muy pequeño(orden nm) que mantienen atrapada el agua y no la dejan escapar, por lo cual es necesario aumentar la temperatura cerca de 200 °C para poder arrancarla casi por completo. (Sánchez Muñoz, 2008)

Seguido del método anterior para la humedad, y casi simultáneamente, se realizan los procesos de cuantificación de materia orgánica y de cenizas de manera simultánea, eso se hace después que se calienta la muestra a 105° para determinar la humedad, y se pesa, nuestra muestra rápidamente se vuelve a calentar, pero ahora a 400°C, a esta temperatura se va toda la materia orgánica volátil, y nos deja ver cuánto tenemos en total de materia orgánica. Este método arroja resultados muy buenos si lo comparamos con el método del dicromato de potasio($K_2Cr_2O_7$), el cual es el estándar de oro para la cuantificación de materia orgánica, pero solo es comparable cuando se tienen niveles bajos de materia orgánica menores al 1%. (Benton Jones, 2001)

Para la determinación de cenizas se vuelve a llevar nuestra muestra a una temperatura de entre 500 y 600°C , teniendo que el peso final que se tiene son las cenizas totales. En este método para determinar cenizas el agua y sustancias volátiles son evaporadas, mientras que las sustancias orgánicas son incineradas en presencia del oxígeno del aire para producir CO_2 y óxido de nitrógeno. La mayoría de los minerales son convertidos a óxidos, sulfato, fosfato, cloruro y silicato. Los elementos tales como: Fe, Se, Pb y As, pueden volatilizarse

parcialmente con este procedimiento, es por ello, que este método tiene un poco de incertidumbre, pero arroja resultados muy cercanos a la realidad. (Benton Jones, 2001)

Otro de los parámetros físicos que es necesario determinar, y que se hace de manera rápida y en una sola medición es la temperatura, la cual nos habla mucho de nuestras fuentes geotérmicas, y nos puede ayudar a clasificarlas. Los yacimientos geotérmicos se clasifican de acuerdo con el nivel energético del recurso que contienen. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

De alta temperatura. Existen en las zonas más activas de la corteza terrestre a temperaturas superiores a 150°C. Son yacimientos de los cuales se puede extraer bastante calor para producir energía eléctrica a partir de vapor de agua. Se localizan principalmente en zonas con gradientes geotérmicos (relación entre la variación de temperatura y la profundidad) elevados y se sitúan a profundidades muy variables. (Instituto Catalán de Energía, 2018)

Por término medio temperatura. Generalmente alcanzan temperaturas entre 100 y 150°C, cosa que permite su aprovechamiento para producción de electricidad, pero con un rendimiento menor que los de alta temperatura. El aprovechamiento también puede ser directo en forma de calor para sistemas de calefacción urbanos o usos industriales. Se localizan en áreas con un contexto geológico y estructural favorable y un gradiente superior a la media. (Instituto Catalán de Energía, 2018)

De baja temperatura. Alcanzan temperaturas entre 30 y 100°C. Su utilización se centra en usos térmicos en sistemas de calefacción urbanos, en procesos industriales y en balnearios. Se localizan habitualmente en zonas con un contexto geológico favorable con presencia de acuíferos profundos, aunque el gradiente puede ser próximo al gradiente medio. (Instituto Catalán de Energía, 2018)

De muy baja temperatura. Son los yacimientos cuya temperatura es inferior a los 30°C. Se suelen utilizar como intercambiador térmico en sistemas de climatización mediante bomba de calor. Estos yacimientos se pueden localizar en cualquier punto, ya que el gradiente geotérmico sólo condiciona la eficiencia del sistema. (Instituto Catalán de Energía, 2018)

Con lo anterior quedan explicada la parte física y fisicoquímica, y seguimos con la parte del análisis químico. Para esta parte es necesario mencionar que trabajo con tres tipos de extracciones para suelo, una con agua destilada y calentamiento, la cual extrae solo los elementos solubles en agua presentes en el suelo, otra con solución extractora Carolina del Norte (0.025 N H₂SO₄ y 0.05 N HCl), esta solución extrae todos aquellos analitos que no son solubles en agua, y según la literatura, extraía de buena manera todos los analitos que eran de interés para los análisis que se iban a realizar (Benton Jones, 2001). También se trabajó con una extracción total del suelo hecha para este caso con ácido nítrico (HNO₃), ácido clorhídrico (HCl) y peróxido de hidrogeno (H₂O₂), con estas soluciones se extrajeron los analitos totales del suelo (EPA, 1996). La diferencia que presenta la digestión total con la solución extractora es que la solución extractora, extrae solamente iones y cationes intercambiables en el suelo, y la digestión total extra todo.

Teniendo los tres tipos de extracciones fue posible hacer el análisis cualitativo, y la cuantificación de varios analitos de interés esto fueron: fluoruros, cobre, aluminio, calcio y cloruros. Cada uno de estos analitos fue analizado por métodos diferentes, apegándonos a las posibilidades y equipo del laboratorio. Así también el análisis cualitativo se hizo de dos maneras diferentes, una mediante una marcha analítica de cationes, y otras más con reacciones características que de los analitos de interés. Este análisis cuantitativo se realizó con el fin de saber que otros analitos están presentes en los suelos, y así antes de llevar a cabo una cuantificación que suelen ser procesos más tardados, mejor hacer una prueba cualitativa que desde el principio nos diga si el analito de interés está presente o no, y que además nos muestre la presencia de otros analitos que pueden ser de interés.

Como ya se mencionó para las pruebas cualitativas se hizo una marcha analítica, procedimiento el cual cada vez practica menos, pero que es de gran ayuda en la química analítica, y que sirve como punto de partida cuando se realiza trabajo de análisis, y que, si bien es cualitativa, nos da una idea de en qué cantidad se encuentra cierto analito, o bien si ese no está presente.

Específicamente el análisis cualitativo inorgánico se refiere a la identificación de cationes (iones metálicos e ion amonio) y aniones (radicales de ácidos) presentes en sustancias y mezclas de sustancias. (Luna, 2010)

Si consideramos una sustancia que contenga a todos los cationes que se deberá encontrar un método que permita probar la presencia de cada uno de ellos. Una solución podría ser encontrar un reactivo específico para cada ion que diera una solución coloreada o un precipitado con uno sólo un catión. Lamentablemente esto sólo es posible en un número limitado de casos, y el principal problema radica en la dificultad para eliminar las interferencias y perturbaciones a la reacción característica de un ion, que ejercen los otros iones. Es por esto, que para nuestro análisis cualitativo usamos una marcha analítica, aunque si hubo otros analitos que se analizaron por reacciones características, ya sea porque sea porque no fue detectable en la marcha analítica y se hizo otra prueba que fuera más sensible, o bien porque solo se hizo marcha analítica de cationes, y los aniones de interés se investigaron por reacciones características. (Luna, 2010)

Con lo anterior podemos entender por marcha analítica a un conjunto de técnicas prácticas basadas en el conocimiento de las propiedades de los iones y de las leyes por las que se rigen las reacciones, las circunstancias en que éstas se verifican, y que tienen por objeto separar de una manera sistemática los cationes presentes en una muestra problema, para proceder luego a su reconocimiento individual definitivo. (Luna, 2010)

En nuestro caso como ya se mencionó se usó una marcha analítica de cationes, la cual fue obtenida del libro “Química Analítica Cualitativa” de Arthur Vogel, la cual resume la marcha de la siguiente manera:

CLASIFICACIÓN ANALÍTICA DE LOS IONES DE
METALES O CATIONES

<i>Grupo *</i>	<i>Reactivo de Grupo</i>	<i>Iones</i>	<i>Precipitado</i>	<i>Característica del Grupo</i>
I plata) (Grupo de la	HCl diluido	Ag ⁺ , Pb ⁺⁺ , Hg ₂ ⁺⁺	AgCl, PbCl ₂ , Hg ₂ Cl ₂	Cloruros insolubles en HCl diluido.
II (Grupos del cobre y del arsénico)	H ₂ S en pre- sencia de HCl diluido	Hg ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Bi ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Cd ⁺⁺ , Sn ⁺⁺ , As ⁺⁺⁺ , Sb ⁺⁺⁺ , Sn ⁺⁺⁺	HgS, PbS, Bi ₂ S ₃ , CuS, CdS, SnS, As ₂ S ₃ , Sb ₂ S ₃ , SnS ₂	Sulfuros insolubles en HCl diluido.
III A (Grupo del hierro)	NH ₄ OH en presencia de NH ₄ Cl	Al ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	Al(OH) ₃ , Cr(OH) ₃ , Fe(OH) ₃	Hidróxidos precipi- tables por NH ₄ OH en pre- sencia de NH ₄ Cl.
III B (Grupo del cinc)	(NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl	Ni ⁺⁺ , Co ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Zn ⁺⁺	NiS, CoS, MnS, ZnS	Sulfuros precipita- bles por (NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ Cl.
IV (Grupo del calcio)	(NH ₄) ₂ CO ₃ en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl	Ba ⁺⁺ , Sr ⁺⁺ , Ca ⁺⁺	BaCO ₃ , SrCO ₃ , CaCO ₃	Carbonatos precipi- tables por (NH ₄) ₂ CO ₃ en presencia de NH ₄ Cl.
V (Grupo de los metales alcalinos)	Sin reactivo de grupo	Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , (Li ⁺), NH ₄ ⁺	Sin preci- pitado de grupo.	Iones que no preci- pitan en los gru- pos anteriores.

Ilustración 2: Resumen marcha analítica de cationes (Vogel A. I., 1969)

Las reacciones características que se aplicaron también fueron obtenidas de la bibliografía antes mencionada.

Para la prueba cualitativa de cloruros y bromuros, se utilizó una prueba cuantitativa, la cual es una titulación potenciométrica. La potenciometría es un método que involucra todas las propiedades electroquímicas con las que cuenta una solución para así obtener la concentración del analito que se encuentra presente en ella y se desea conocer. Este está basado en la medida de la diferencia de potencial entre electrodos sumergidos en una solución, siendo el potencial de uno de los electrodos función de la concentración de determinados iones presentes en la solución. La medida de los potenciales de electrodo

permite obtener de forma directa la concentración de una sustancia o seguir su evolución a lo largo de una reacción química (reacción de titulación). (Trujillo-Piña, Vega Sánchez, & Barajas Bermúdez, 2014)

En las reacciones de titulación es necesario que la estequiometría sea conocida y no tenga cambio; el equilibrio debe ser rápidamente establecido y sin reacciones secundarias, así como mínimos errores de detección del punto final y que este sea muy cercano al punto de equivalencia. El punto de equivalencia de la reacción se determina por la aparición de un punto de inflexión en la curva de valoración, potencial en función de la cantidad de reactivo añadido. (Trujillo-Piña, Vega Sánchez, & Barajas Bermúdez, 2014)

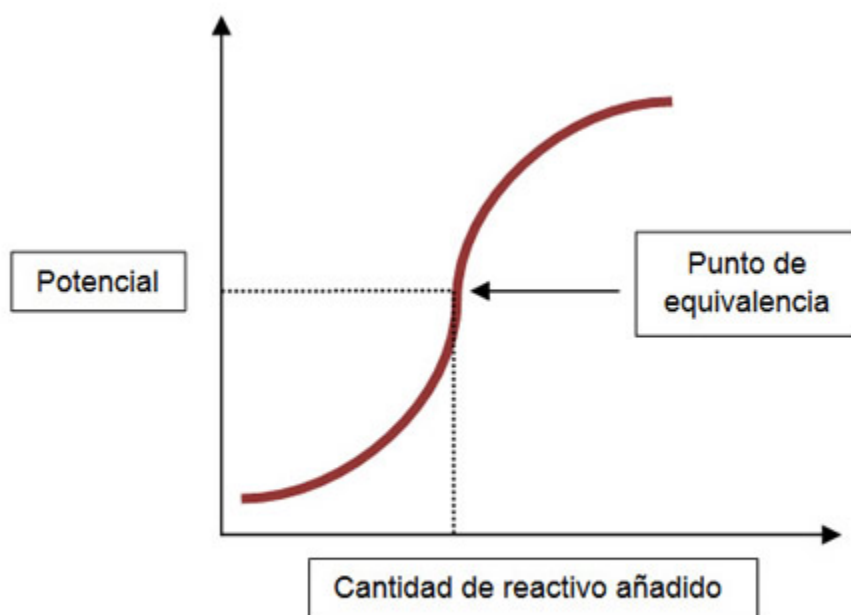


Ilustración 3: ejemplo de una titulación potenciométrica (Trujillo-Piña, Vega Sánchez, & Barajas Bermúdez, 2014)

Este tipo de análisis proporciona resultados más fiables que cuando usamos indicadores químicos debido a la turbidez o color que pueden llegar a presentar algunas soluciones donde se efectúa una reacción. (Trujillo-Piña, Vega Sánchez, & Barajas Bermúdez, 2014)

En este caso se usó como electrodo selectivo un alambre de Ag recubierto de AgCl, y como referencia un electrodo de Pt, midiendo directamente en la extracción que se desea analizar el voltaje generado cada adición de titulante de AgNO_3 , y agregando un buffer iónico de

NaNO_3 cual haría más apreciables los puntos de inflexión que corresponden al Br^- y al Cl^- (Bowers, Hsu, & Goldman, 1961). Este proceso se manejó cualitativo, porque solo se hizo a una extracción acuosa, y solo se quería determinar si había presencia de bromuros y cloruros en nuestras muestras.

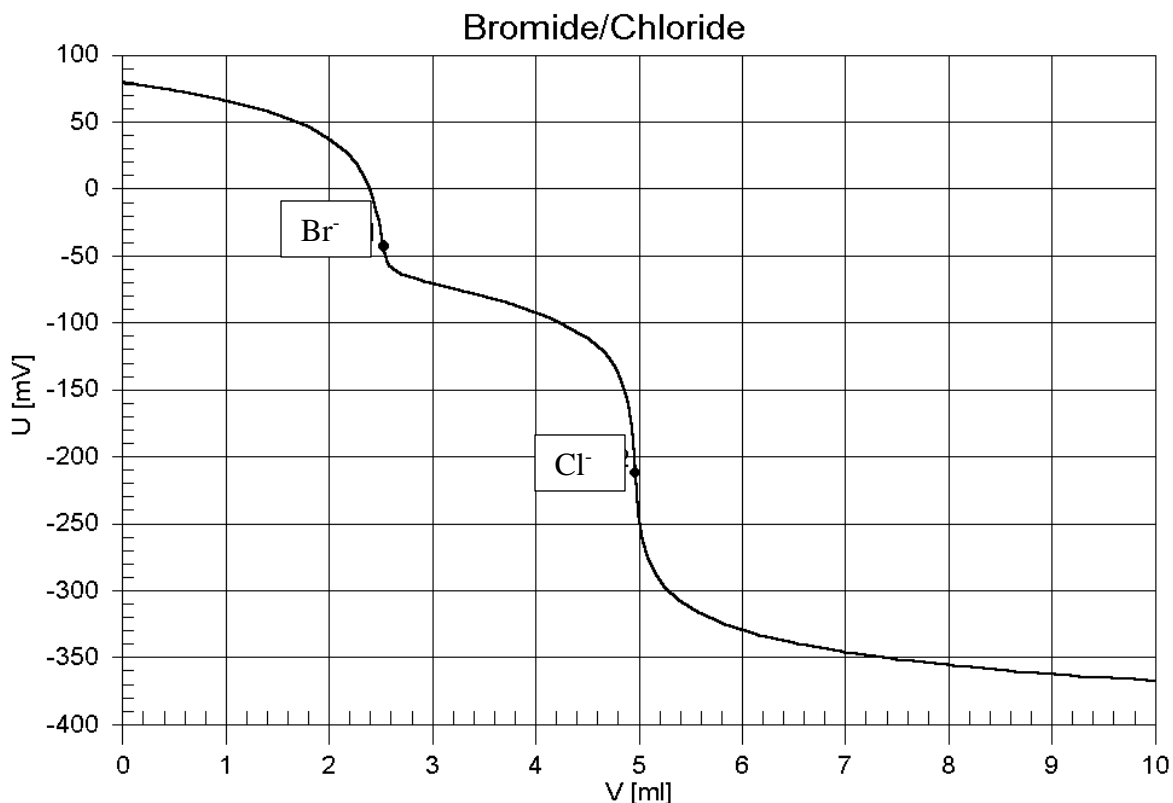


Ilustración 4: curva de titulación característica para la determinación por separado de los cloruros y los bromuros. (Metrohm, 2011)

La cuantificación de aluminio fue realizada con una titulación complejométrica. Este tipo de titulaciones están basadas en la formación de complejos con el analito de interés a través de agentes acomplejaste, y obtenido la concentración del analito en el momento en que el agente acompleje junto con el analito, lleguen a un equilibrio químico. La formación de complejos también puede servir como base para titulaciones exactas y convenientes de iones metálicos en los que el titulante es un agente complejante. Las titulaciones complejométrica son útiles para determinar un gran número de metales. Se puede lograr selectividad mediante el uso adecuado de agentes enmascarantes (la adición de otros agentes complejantes que reaccionan con los iones metálicos que interfieren) y por control

de pH, ya que la mayoría de los agentes complejantes son ácidos o bases débiles cuyos equilibrios están influidos por el pH. (Christian, 2009)

Como ya se dijo se usó una titulación complejométrica para la cuantificación de aluminio, en la cual el aluminio presente en las muestras será acomplejado por nuestro titulante que en este caso es NaF, formando un compuesto en de fluoruro con aluminio. (Hanson & Smetana, 1975)

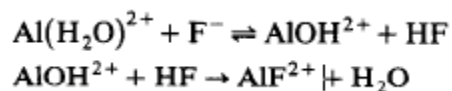


Ilustración 5: reacción complejométrica del Al⁺³ con el F⁻. (Radic, Prugo, & Bralic, 1988)

La titulación se sigue con el ISE, usando como referencia el electrodo de Ag/AgCl, y teniendo la solución en un buffer de acetato de sodio con ácido acético, de pH 5, y etanol como solvente. Tanto el solvente como el pH tienen una gran influencia en la resolución de la curva de calibración, por esta razón se realizó una investigación de cuales eran tanto el pH como el solvente que daban mejor resultados, encontrando que los reportados en la literatura eran pH 5 y etanol como solvente. (Radic, Prugo, & Bralic, 1988)

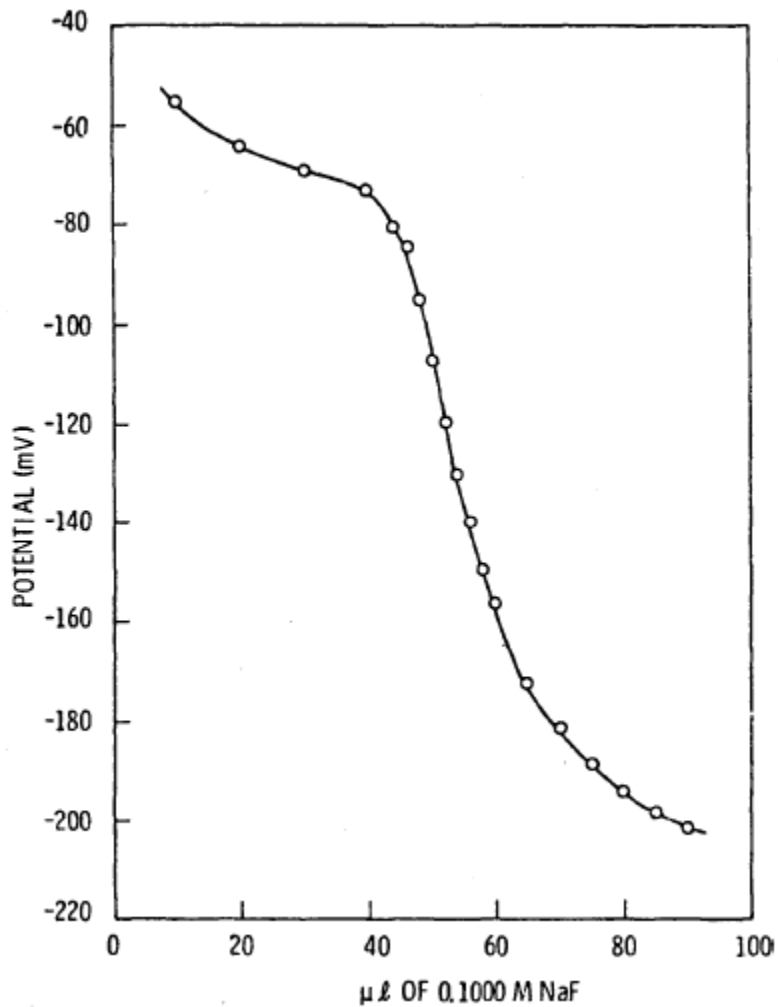


Ilustración 6: Curva típica de titulación de aluminio con fluoruros. (Hanson & Smetana, 1975)

Para el cobre se usó un método colorimétrico, el cual está basado para pruebas en suelos y plantas. Este método es el método del carbamato, el cual consiste en formar un compuesto coloreado de un tono amarillo a partir de la reacción del carbamato con el cobre, formando carbamato de cobre.

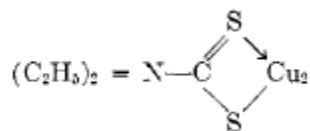


Ilustración 7: Molécula de carbamato de cobre (dietilditiocarbamato de cobre) (Lu Cheng & Bray, 1953)

A la solución resultante se le agrega también una solución de EDTA y citrato de sodio, los cuales al ser tan buenos agentes quelantes funcionan como acomplejantes de otros compuestos que podrían interferir en la reacción. Dado que el carbamato de cobre está mezclado con otros compuestos como los complejos formados por el EDTA, además de que se encuentra diluido, esto hace difícil su medición en el espectrofotómetro, ya que no tendría un gran rango trabajo, en cuanto a concentraciones, se tendría una sensibilidad baja, además de tener interferentes de los compuestos acomplejados de EDTA. Por esta razón es necesario extraer el carbamato de cobre, el cual se lleva a cabo usando CCl_4 como solvente, el cual extrae el carbamato de cobre como una solución coloreada de un amarillo seco, la cual ya es medible en cualquier espectrofotómetro, a una longitud de onda de 500nm, ya que este valor es el que reporta la literatura como el que mejor se ajusta a la Ley de Beer-Lambert. (Lu Cheng & Bray, 1953)

Para la cuantificación de los fluoruros se usó un electrodo selectivo (ISE), el cual funciona en un rango de pH de 5 a 10, por lo que lo mejor es tener un pH cercano al neutro. Tiene una respuesta lineal a la concentración de fluoruros en el rango de 0.1 a 1000ppm. Como electrodo de referencia pude usar de Ag/AgCl, de calomel, o uno de doble junta, en nuestro caso se usó el de Ag/AgCl, los electrodos para su funcionamiento deben ser conectados a un potenciómetro, el cual fue en este caso el potenciómetro HORIBA, el cual tiene la interfaz más sencilla para la calibración y medición. Esta fue una de las cuantificaciones sencillas y rápidas, dado la bondad que ofrece este tipo de técnicas.

Por último, para la determinación de calcio y cloruros, se planeaba un electrodo selectivo de Ca^{+2} y Cl^- , los cuales son conectados a un LabQuest, el cual arroja la medición. El rango donde funciona de manera correcta estos electrodos es entre 10 y 1000 ppm, y con soluciones cercanas a pH neutro. Lamentablemente los electrodos presentaron mucha variación en las mediciones, por lo que se decidió que los resultados no eran correctos por el nivel de incertidumbre que presentaban

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

El proyecto busca que se lleve a cabo el análisis del suelo de fuentes geotérmicas del Bosque de la Primavera y suelos aledaños a estas mismas fuentes. Este análisis se dividió en tres partes, uno donde se realizaría la medición de cualidades físicas y fisicoquímicas del suelo las cuales son de interés además que proporcionan datos que nos indican hasta cierto punto como estar compuesto nuestro suelo, y nos ayudara interpretar datos obtenidos en la segunda parte del proyecto. Para la segunda parte se llevaría a cabo el análisis cualitativo de una de nuestras muestras, usando como referencia la digestión total de las muestras obtenidas directamente de las 3 fuentes geotérmicas, realizando primeramente una marcha analítica de cationes, y siguiendo con la realización de reacciones características para verificar la presencia de otros analitos de interés, que serían el boro, los cloruros, y bromuros, así como de otros analitos de los cuales el análisis en la marcha analítica no fue concluyente.

En la última parte del proyecto, se buscaría encontrar métodos de bajo costo y aplicables con los recursos que se tenían en el laboratorio, para analizar de manera química y cuantitativamente la presencia de ciertos analitos de interés, que para este caso fueron: fluoruros, cobre (surgió a partir de marcha analítica), aluminio, calcio y cloruros. A partir de los resultados obtenidos se haría un análisis de la viabilidad de explotar las fuentes geotérmicas analizadas, y una comparación entre las composiciones de los muesas obtenidas directamente de las fuentes geotérmicas con las obtenidas de los suelos aledaños. Aunado a esto concluir en porque se encontró o no cierto analito, o que indica su presencia en bajas o altas concentraciones.

- Plan de trabajo

Cronograma del plan de trabajo llevado a cabo en el PAP Otoño 2018

Actividad\Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Planteamiento del plan de trabajo																
Toma de muestras																
Preparación de muestras																
Determinación de propiedades Físicas y Físicoquímicas																
Extracciones y digestiones																
Investigación de métodos Cualitativos																
Análisis Cualitativo																
Investigación de métodos Cuantitativos																
Análisis Cuantitativo																
Análisis e interpretación de resultados																

○ Recursos necesarios:

Tabla 1: Recursos utilizados para el proyecto.

Reactivos	Equipo	Material de laboratorio
Ácido sulfúrico concentrado.	Potenciómetro Horiba	Matraces aforados de 25, 50, 100, 200, 250, 500 y 1000mL.
Carbamato de Sodio	Electrodos Selectivo marca Vernier (Ca ⁺² , Cl ⁻)	Pipetas de 1, 5 y 10 mL
Ácido clorhídrico concentrado Ácido nítrico concentrado	LabQuest	Matraz Kitasato

EDTA	Balanza Analítica Mettler Toledo	Embudo Buchner
Peróxido de Hidrogeno	Espectrofotómetro Bachara	Frascos de plástico distintos tamaños
Citrato de sodio	Parrilla de agitación con calentamiento	Vasos de precipitados de distintos tamaños
Tetracloruro de carbono	pH-metro fabricado por los almacenistas	Probetas de distintos tamaños
Persulfato de amonio	Mufla	Crisoles
Hidróxido de amonio	Estufa de desecación	Desecador
Sales de cobre y aluminio	Potenciómetro comercial	Termómetro
Hidróxido de Sodio	Electrodo selectivo de fluoruros marca Thomas	Bureta
Amoniaco	Tiras reactivas de distintos analitos.	Tamices del N° 10 y 16
Fluoruro de Sodio	Electrodo de Ag/AgCl	Tubos Hach
Pirita		Embudo de decantación
Distintos reactivos específicos para la marcha analítica, y reacciones características		Micro kipp
Nitrato de Sodio		Placa de porcelana
Cloruro de sodio		Piseta
Rojo de Metilo (0.05%)		Papel Whatman N°4
Nitrato de plata		Mortero metálico.
Cromato de potasio		
Cloruro de calcio		
Agua destilada		

- Desarrollo de propuesta de mejora

Para iniciar la etapa de experimentación se recolectaron las muestras de suelo aledaño de las tres fuentes geotérmicas del Bosque La Primavera, y de un testigo alejado 15 metros aproximadamente de las fuentes geotérmicas. la ubicación es en el predio de Planillas el cual se encuentra en la parte alta del bosque. El sitio exacto de dichas fuentes se muestra en las siguientes imágenes.

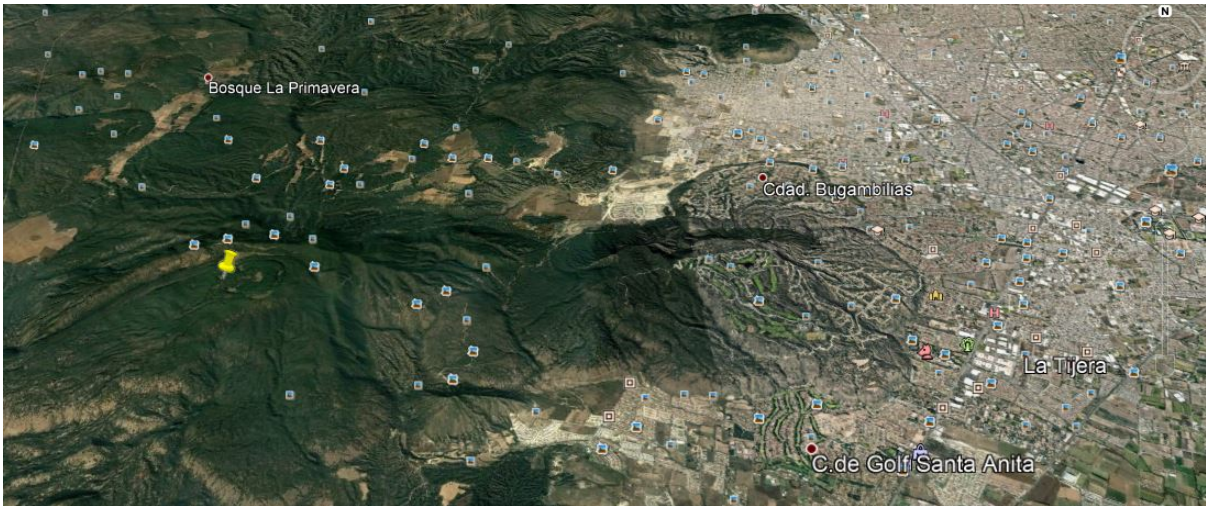


Ilustración 8: Perspectiva general de la ubicación de los pozos en la zona metropolitana.

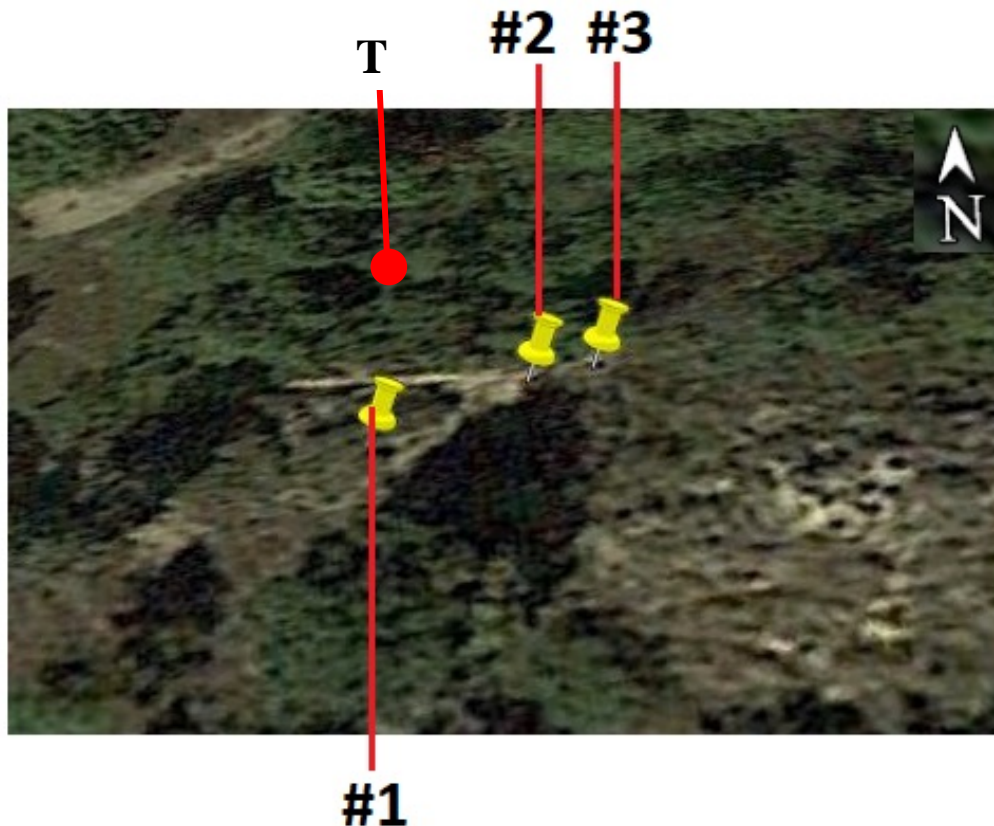


Ilustración 9: Ubicación particular de los pozos de salida de vapores de fuentes geotérmicas.

Para la recolección de muestras se utilizó una pala de jardinería y se guardaron las muestras en bolsas plásticas con cierre hermético, se clasificaron las muestras de acuerdo al número de pozo al que colindaban, y la muestra alejada se clasificó como testigo. Se procuró no tomar en las muestras porciones de ramas, raíces u hojarasca ya que esto podría causar errores en las mediciones, ya que esta si bien es materia orgánica, está aún no se ha descompuesto. En promedio se recolectaron alrededor de 5 a 6 kg de suelo por cada fuente (peso húmedo). La recolección de muestras no corresponde a la especificada en manuales de edafología ni a las normas sobre muestreo de suelos, ya que estos son para muestreo de suelos en grandes extensiones de terreno, donde se tiene que cuadrar un área de muestreo, y de esta área tomar muestras de manera aleatoria de distintos lugares, y dependiendo del uso que se le dé o vaya a dar a la tierra muestreada, también será la profundidad para la toma de muestra.

A continuación, se presentan las imágenes capturadas en sitio de las tres muestras de suelo empacadas y selladas, así como de cada uno de los pozos correspondientes.



Ilustración 10: Fotografía en sitio de las muestras de suelo empacadas.



Ilustración 11: Fotografía pozo 1.



Ilustración 12: Fotografía pozo 2.



Ilustración 13: Fotografía pozo 3.



Ilustración 14: Toma de muestra en suelos aledaños

A cada una de las muestras de suelos tanto de las fuentes geotérmicas, como de los suelos aledaños, se le realizó un tratamiento previo a las diluciones y digestiones, para este tratamiento se siguieron los siguientes pasos:

1. Secado en una estufa a temperaturas entre los 40 y 70°C durante 5 horas.

2. Molienda.
3. Tamizado con un tamiz N° 10 y 16.
4. Homogeneizar.

(Jackson, 1970)

Una vez que las muestras estaban secas y homogéneas se realizaron dos extracciones, una en agua y otra en solución ácida, y una digestión ácida total.

Una vez que las muestras estaban secas y homogéneas se realizaron dos extracciones, una en agua y otra en solución ácida, y una digestión ácida total.

Extracción en agua: se pesaron 10g de cada suelo seco y se colocaron en tres vasos de precipitado con 100mL de agua destilada, se calentó la mezcla a 80°C durante dos horas aproximadamente, la mezcla se filtró con la ayuda de un Kitasato, filtro Büchner y del sistema de vacío, la solución filtrada se aforó a 250mL para el caso de la muestra 1 y a 200mL para las muestras 2 y 3.

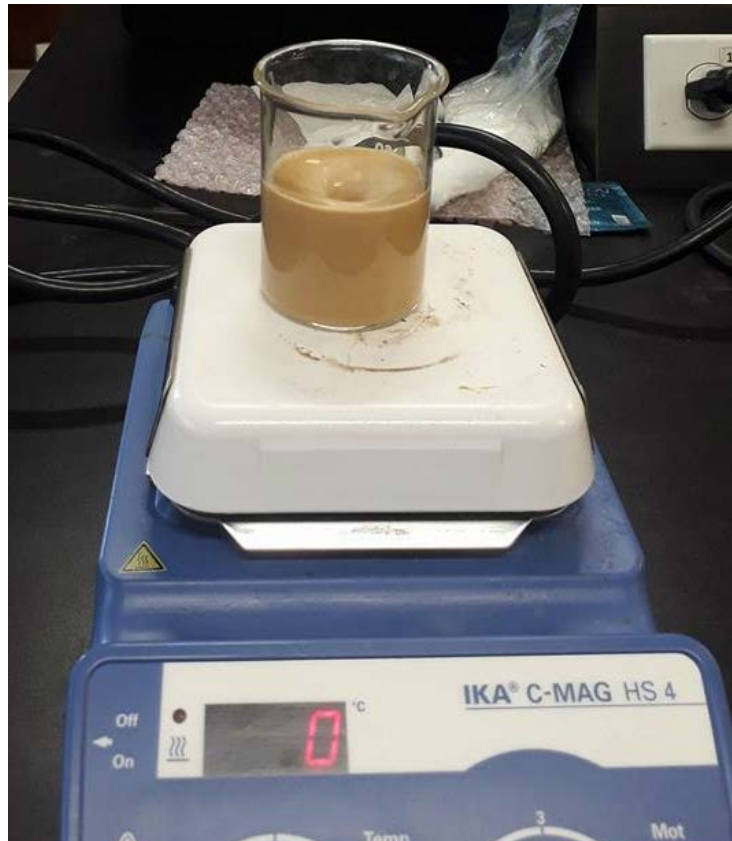


Ilustración 15: Extracción acuosa

Extracción en ácido: Se preparó la solución extractora ácida de Carolina del Norte (0.025 N H₂SO₄ y 0.05 N HCl) (Alvarado Castro & Vélez Lucero, 2011), con esta se hizo el extracto ácido, poniendo 5g de cada uno de nuestros suelos en vasos de precipitado, y agregando 50ml de nuestra solución extractora, esta se dejó en agitación por 20 minutos, después la mezcla resultante se filtró con la ayuda de un Kitasato, filtro Büchner y del sistema de vacío, usando para el filtrado papel Whatman N° 4, la solución filtrada se aforó a 200mL para cada una de nuestras muestras.



Ilustración 16: : Extracción con solución extractora de Carolina del Norte

Digestión total: se colocaron 2g de cada suelo en tres matraces kjeldahl, a ellos se les agregó 10mL de una solución de ácido nítrico 1:1 y se calentaron a 95°C por 15 minutos, esto con el fin de digerir la materia orgánica más simple, se dejaron enfriar los matraces y se añadieron 5mL de ácido nítrico puro, se calentaron a punto de ebullición, cuidando que no se proyectaran, éste último paso se repitió 5 veces para la muestra 3, y 6 veces para las muestras 1 y 2, las repeticiones se llevaron a cabo hasta que se dejaron de producir humos rojos en la fase de ebullición, indicando la completa digestión de toda materia orgánica,

entre cada repetición es importante esperar a que la muestra se enfríe antes de añadir de nuevo 5mL de ácido nítrico. Una vez que se enfriaron las muestras, se les agregó 2mL de agua destilada y 3mL de peróxido de hidrógeno, se calentaron a fuego lento y se repitió dicho paso hasta que la muestra no mostró efervescencia al añadir el peróxido de hidrógeno, de nuevo se dejó enfriar entre cada adición, para el caso de las tres muestras se realizaron tres adiciones de peróxido. Finalmente, se filtraron y lavaron las soluciones obtenidas, utilizando el sistema de filtración ya mencionado, para posteriormente aforar a 250mL (EPA, 1996).



Ilustración 17: Digestión ácida

Para cada una de las muestras se determinaron diferentes características físicas y fisicoquímicas:

Temperatura: Esta se midió directamente en cada pozo, haciendo dos mediciones, una en la superficie del pozo, y otra en el vapor que de ellos emanaba,

estas mediciones se realizaron con un termómetro infrarrojo y aguja, el de aguja para la superficie del pozo, y el infrarrojo para los vapores.

Humedad: se lavaron y secaron en estufa tres cápsulas de porcelana, se determinó el peso de cada cápsula y posterior a ello se agregó una cantidad conocida de suelo, para después llevarlas a secar a 105°C por 5 horas, se dejaron enfriar en un desecador y a continuación se determinó el peso restante, y por diferencia de masa se calculó la humedad inicial de las muestras (Pansu & Gautheyrou, 2006).

Materia orgánica volátil y cenizas: Se refiere a la determinación de las cenizas en una mufla a temperaturas que oscilan entre 500 y 600 °C. El agua y sustancias volátiles son evaporadas, mientras que las sustancias orgánicas son incineradas en presencia del oxígeno del aire para producir CO₂ y óxido de nitrógeno. La mayoría de los minerales son convertidos a óxidos, sulfato, fosfato, cloruro y silicato. Los elementos tales como: Fe, Se, Pb y As, pueden volatilizarse parcialmente con este procedimiento, es por ello por lo que otros métodos se deben usar como paso preliminar para análisis elemental específico [28].

En el siguiente diagrama se puede apreciar los pasos a seguir para la realización de este método. Cabe destacar que se registraron los pesos después de cada paso después de que se dejaron enfriar dentro de un desecador.

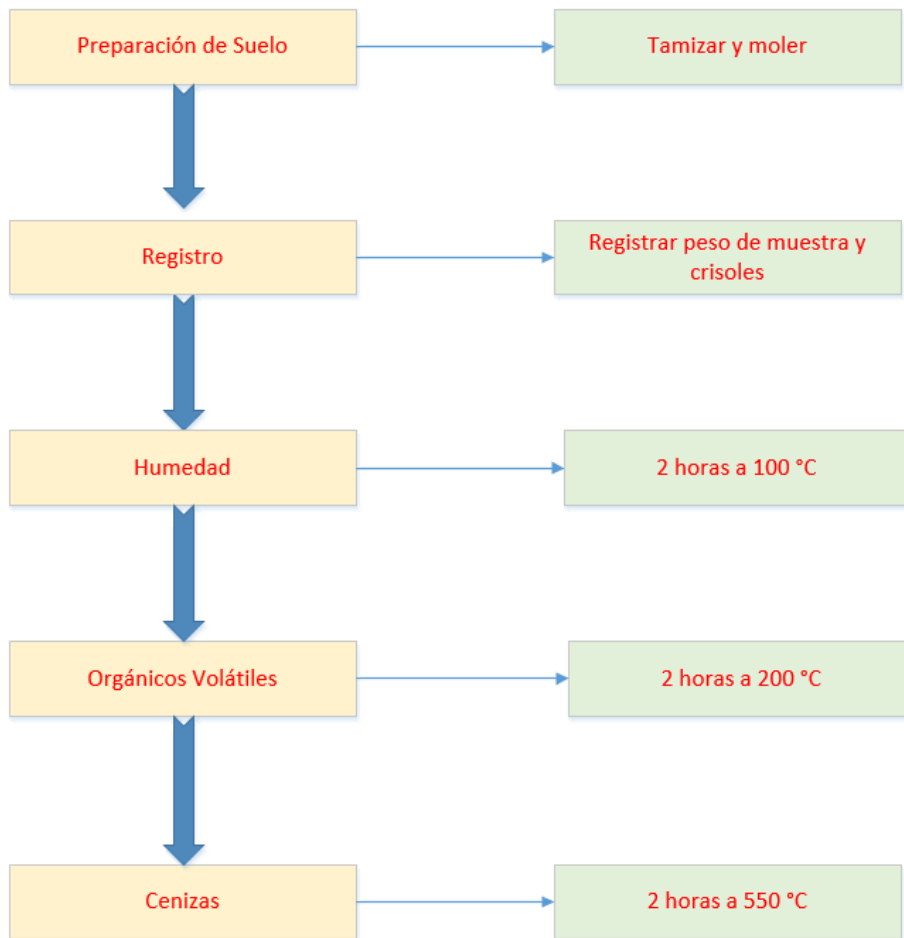


Ilustración 18: Diagrama de proceso de medición de humedad, orgánicos volátiles y cenizas. Elaborado por Kenneth Larios

Análisis cualitativo: Primeramente, se llevó a cabo la marcha analítica, para si no era encontrado algún analito de interés, pudiera ser analizado después con una reacción característica. La marcha analítica de cationes realizada fue tomada del libro de “Química Analítica Cualitativa” de Arthur Vogel, dado que es larga la explicación del procedimiento, se dejara como esbozo la tabla presentada en la ilustración 2 , si se tiene alguna duda del procedimiento seguido para la marcha analítica, consultar la bibliografía antes mencionada. Cabe destacar que como se necesitaba sulfidar las muestras a analizar, esto en diferentes partes de la marcha, se tuvo que preparar pirita(sulfuro de hierro), a partir de azufre y limadura de hierro, ya con la pirita preparada, esta se colocaba en un micro kipp, el cual contenía HNO_3 ,

el cual al mezclarse con la pirita generaba H₂S, el cual pasaba del micro kipp a la muestras a través de una manguera de látex, era regulado por una pinza de Mohr. La marcha se llevó acabo usando las digestiones totales de las muestras que se extrajeron directamente de las fuentes geotérmicas, ya que de estas era las que importa más el contenido, ya que las muestras de los suelos aledaños son solo para comparación. El proceso fue satisfactorio hasta el grupo IIB, ya que, para los grupos posteriores, no se obtuvo el precipitado característico que los contenía, así que se prosiguió a hacer reacciones características de otros analitos de interés. Las reacciones que se llevaron a cabo fueron las siguientes.

Tabla 2: Reacciones características de distintos analitos de interés.

Analito	Reacción característica	Reactivos Principales	Parámetro de prueba positivo
Cobalto	Prueba con tiocianato	<ul style="list-style-type: none"> •Tiocianato de amonio •Alcohol amílico •Ácido clorhídrico •Tiosulfato de amonio 	Coloración Azul
Níquel	Prueba con dimetilglioxima	<ul style="list-style-type: none"> •Dimetilglioxima 1% •Tartrato de sodio •Hidróxido de amonio 	Coloración rosa mexicano
Estroncio	Prueba con rodizonato de sodio	<ul style="list-style-type: none"> •Rodizonato de sodio •Cromato de potasio 	Precipitado pardo rojizo
Boro	Método de la curcumina	<ul style="list-style-type: none"> •Papel de cúrcuma 	Coloración azul verde del papel de cúrcuma.

		•Hidróxido de amonio	
--	--	----------------------	--

Para cada análisis cualitativo, se realizaba un tratamiento similar a una muestra testigo que contenga el analito que se está analizando para saber cómo nos tiene que dar la prueba confirmatoria de la presencia catión o anión que se está analizando.

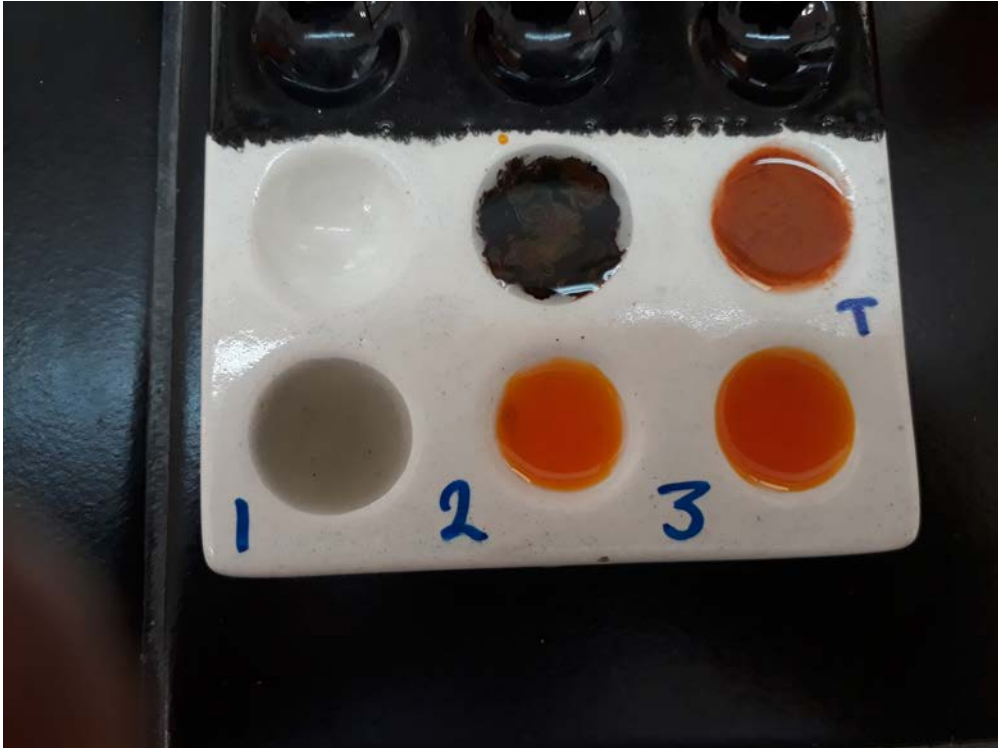


Ilustración 19: Prueba cualitativa de reacción gota a gota en placa de porcelana.



Ilustración 20: Equipo de sulfridación de muestras



Ilustración 21: Prueba cualitativa positiva de presencia de estaño.

Análisis cualitativo de cloruros (Cl^-) y bromuros (Br^-) por titulación potenciométrica: Para este análisis primeramente se preparó un electrodo de Ag/AgCl, poniendo un alambre de plata completamente limpio en una solución saturada de KCl, esto para que se hiciera el recubrimiento de del AgCl al alambre de

plata, se observa que el recubrimiento es el adecuado, si el alambre de plata presenta una coloración oscura en su superficie. Después de esto se preparó una solución de AgNO_3 , de aproximadamente 0.1 M, se prosigue a preparar un buffer iónico de NaNO_3 , para finalizar la preparación de soluciones, se prepara una solución de 500 ppm de Cl^- , a partir de NaCl . Ya con todas las soluciones preparadas, se prosigue primeramente a hacer una valoración de la solución de AgNO_3 , a partir de la titulación de la solución de concentración conocidas de cloruros de 500ppm, obteniendo que nuestra solución de AgNO_3 tiene una concentración de 0.0953 M. Las titulaciones realizadas incluyendo la de la valoración de la solución de AgNO_3 , se hicieron de la misma manera, agregando 5 ml en las que se sospecha contienen cloruros y bromuros, después se le agrega 1 gota de K_2CrO_4 , esto para seguir la titulación también con el cambio de color, se agregan 4 mL del buffer iónico de NaNO_3 , esto nos ayuda a detectar de mejor manera el punto de inflexión que representa la concentración de los bromuros. Después se prosigue a la titulación con el AgNO_3 , verificando que los electrodos tanto el de Ag/AgCl , como el de referencia de Pt , estén bien conectados al potenciómetro, y estén inmersos de manera adecuada en la solución a titular, también fue necesario mantener la solución agitada para tener resultados acertados, y más rápidamente se estabilice el voltaje, la titulación se hace agregando 0.25 mL de solución del titulante, y midiendo el voltaje que se genere en cada adición, se agrega titulante hasta que se presenten los puntos de inflexión característicos de cada analito, y que este voltaje se mantenga estable después de varias adiciones. Es necesario resaltar que el voltaje que se toma para cada medición es el que se mantienen estable por más de 10 s. Es necesario mencionar que el titulante utilizado se diluyo 1:5 para el análisis de las muestras, dado que la concentración que se tenía era muy grande y con muy poco volumen se presentaba el cambio de voltaje que da el punto de inflexión, el cual nos dice que la titulación termino, esto se observaba también con el vire de color dado por el indicador de K_2CrO_4 . También se realizó otra curva de titulación realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero agregando a la solución a titular

0.1g de NaBr, y así observar de manera experimental la curva característica de titulación de una solución que contiene cloruros y bromuros (Bowers, Hsu, & Goldman, 1961).

Cuantificación de cobre (Cu) por método colorimétrico: El método usado para esta cuantificación es el método del carbamato. Lo que se hizo primeramente fue preparar todas las soluciones requeridas. Primeramente, se preparó una solución al 1% de carbamato, partiendo de ácido carbámico, esta es la solución que formara el complejo que formara un color amarillo al juntarse con el cobre, presentando un color amarillento. Se prosiguió en la preparación de la solución al 20% de EDTA y 5% de citrato de sodio (se puede usar también citrato de amonio), el cual sirve como acomplejante de interferentes en la medición. Por último se prepararon soluciones de concentración conocida de Cu(0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 3, 5 ppm), para a partir de ellas construir la curva de calibración, las soluciones para la curva se prepararon a partir de una solución madre de 10 ppm de Cu, preparada a partir de CuSO_4 . Al terminar la preparación de todas las soluciones requeridas se prosigue con la extracción, primero se ponen 25 mL de la solución a analizar en el embudo de decantación, después se agregan 10 mL de la solución acomplejante de EDTA con Citrato, después se le agregan 2 mL de NH_4OH concentrado para ajustar el pH entre 7 y 10, después se prosigue a agregar 1 mL de la solución de carbamato al 1%, y por último 10 mL de CCl_4 , el cual será el extractor del carbamato de cobre. Al ya tener todos los reactivos en el embudo de decantación, se prosigue a agitar vigorosamente por 5 min el embudo con nuestra mezcla, para que se pueda dar la extracción, después de agitar se deja reposar el matraz, y se espera a que la solución de CCl_4 con carbamato de cobre se quede completamente en el fondo, cuando se llegue a este punto la solución antes mencionada se coloca en un vaso de precipitados. Después de esto se le vuelven a agregar 5 mL de la CCl_4 a la solución que aún se encuentra en el embudo de decantación y se vuelve a agitar por 2 min, esto se hace para arrastrar todo el carbamato de cobre que pudo haber quedado aun en la solución, esta segunda solución extraída es mezclada con la que se obtuvo

en la extracción anterior, ya con las dos extracciones juntas, el líquido se coloca en un tubo hach, y ya se puede medir en el espectrofotómetro. Este proceso se realizó para las soluciones que se usaron para la curva de calibración, y para las muestras de suelos de las cuales se analizaron solo las soluciones obtenidas de las digestiones totales, y las extracciones ácidas, las cuales se hicieron por duplicado. (Lu Cheng & Bray, 1953)



Ilustración 22: Extracción de carbamato de cobre.



Ilustración 23: Prueba cualitativa positiva de presencia de cobre

Quantificación de aluminio (Al^{+3}) mediante una titulación complejométrica:

Como en todos nuestros análisis se comenzó con la preparación de las soluciones necesarias para el análisis en este caso solo fue necesario la preparación del titulante, el cual fue una solución de NaF de 0.1 M, y del buffer de pH 5, preparado a partir acetato de sodio y ácido acético glacial, y ajustándolo al pH deseado con solución concentrada de NaOH. También para valorar nuestro titulante de NaF, se preparó una solución 1000ppm de aluminio. Las titulaciones, tanto para la valoración como para la cuantificación de las muestras, se hizo agregando 3 mL de la solución a analizar, se le agrega rojo de metilo, y si el líquido se tornaba rojizo se prosigue al siguiente paso, si no se agregaba HCl concentrado hasta que se torne rojizo, ya que se consigue la coloración se agregan 1 ml de buffer de pH 5, y 19 mL de alcohol etílico al 95%. Con la solución preparada, está se colocaba en una placa de agitación y dentro de la solución se colocaban de manera correcta los electrodos con los que se trabajó, los cuales son el ISE de fluoruros, y como referencia el

electrodo de Ag/AgCl, ambos conectados al potenciómetro Horiba. La titulación se realiza midiendo el voltaje cada vez que se le agregan 0.5 mL del titulante a la muestra a analizar, el voltaje que se toma es el que se mantiene constante por más de 10 s. (Hanson & Smetana, 1975)

Cuantificación de fluoruros (F⁻) mediante ISE: Para este análisis solo se prepararon soluciones de concentraciones conocidas de fluoruro para hacer la calibración del equipo, y la curva de calibración para la disminución del error de medición. Las soluciones de concentraciones conocidas de F⁻ a partir de NaF, partiendo de una solución madre de 1000 ppm, y haciendo diluciones para tener soluciones de 500, 100, 50, 10, 5, 1, 0.5 0.1 ppm. Para las mediciones ya la calibración, se sumerge el ISE de F⁻ y el electrodo de Ag/AgCl dentro de la solución a analizar, y estos a su vez deben de estar conectados de manera correcta al potenciómetro Horiba. En el potenciómetro, se lee la concentración hasta que esta se mantenga estable. La calibración se realizó con las soluciones de 1000 ppm y 0.1 ppm, que es el rango donde el ISE de F⁻ se comporta de manera lineal. Se uso el potenciómetro Horiba porque este cuenta con la modulo para conectar ISE, y que en lugar de arrojar voltaje nos arroja directamente la concentración medida. Cabe resaltar que después de cada medición se tienen que limpiar los electrodos para no meter incertidumbre a las mediciones. Las mediciones se hicieron en los tres tipos de extractos y una sola medición para cada tipo de muestra.

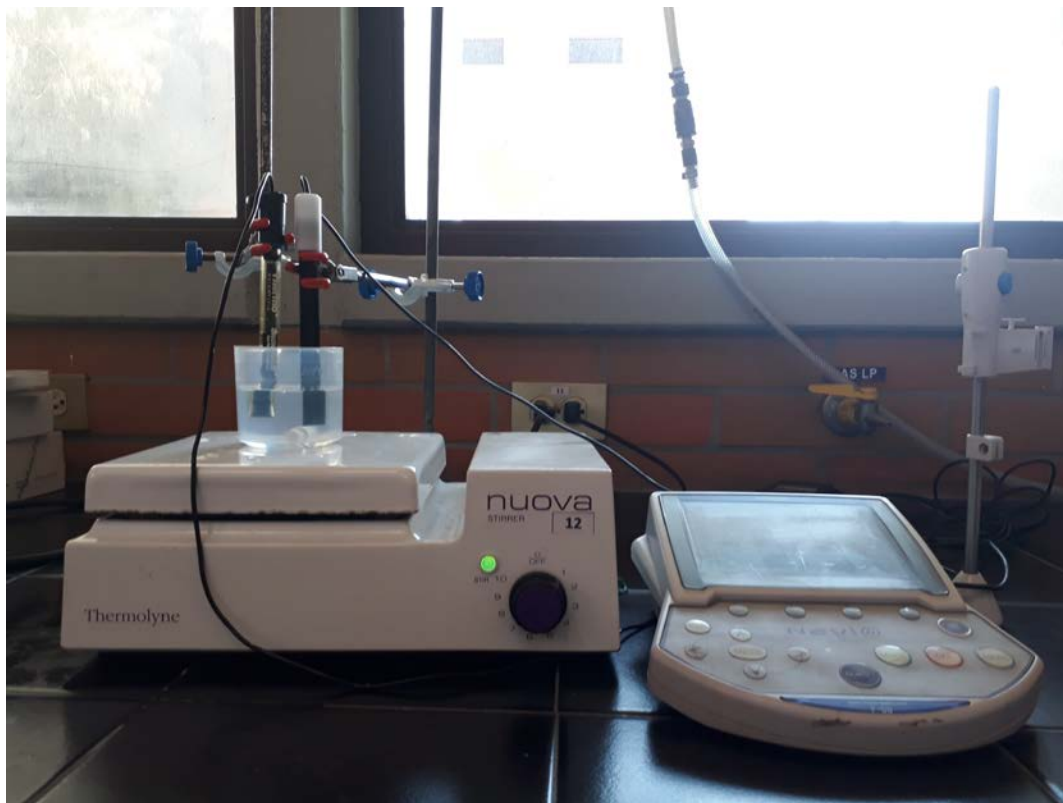


Ilustración 24: Medición de fluoruros con ISE

Cuantificación de calcio (Ca^{+2}) y cloruros (Cl^-) mediante ISE: Las mediciones con estos electrodos se realizaron usando varias estrategias sin tener resultados positivos en ninguno de ellos.

Primeramente, se prepararon soluciones de concentración conocida tanto de Cl^- , a partir de NaCl , preparando soluciones de 1000, 500, 100, 50, 20, 10 y 1ppm de Cl^- ; y de Ca^{+2} , a partir de CaCl_2 , preparando soluciones de 1000, 500, 100, 50, 10 y 1 ppm de Ca^{+2} . A partir de las soluciones correspondientes de 1000 y 10 ppm se realizó la calibración para cada uno de los ISE, los cuales necesitan estar conectados a un LabQuest para poder hacer la calibración y las mediciones. Con estas calibraciones los resultados nos fueron concluyentes dado que las variaciones eran grandes, por lo que se les agregó a cada una un buffer iónico, sin tener mejoras en las mediciones, por lo que al final solo se llegó a la conclusión que los electrodos no funcionan.



Ilustración 25: Pruebas de ISE vernier de Ca^{2+} y Cl^- .

3. Resultados del trabajo profesional

Propiedades físicas del suelo: Los resultados obtenidos para la temperatura obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3: Temperaturas de las fuentes geotérmicas

Lugar de extracción	N° Suelo	Temperatura del Vapor [°C]	Temperatura de la superficie del Pozo [°C]
Fuentes Geotérmicas	1	48	50
	2	60	64
	3	57	61
Suelo aledaño	Testigo	20	

Con estos resultados podemos determinar que las fuentes geotérmicas estudiadas

producción de energía, o al menos no a gran escala, ya que este vapor según la literatura no podría abastecer de energía a una ciudad. Pero no se puede ser tajante en esto, ya que sería necesario para poder hacer un análisis más detallado, es medir la temperatura de los pozos a lo largo del año, y ver que tan grandes son las variaciones, y también verificar si al excavar más en las fuentes geotérmicas el flujo y la temperatura del gas aumentan.

En cuanto a las propiedades físicas que incluyen la humedad total, la humedad remanente, la materia orgánica volátil, y total, así como las cenizas, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4: propiedades físicas de las muestras de suelo

Lugar de extracción	N° Suelo	Humedad Total	Humedad remanente	Materia orgánica volátil	Materia orgánica total	Cenizas	Suma
		(2 h @ 100°C)	(2 h @ 150°C)	(2 h @ 200°C)	(2 h @ 550°C)	(2 h @ 550°C)	
Fuentes Geotérmicas	1	31.5%±0.3%	2.6%±1.8%	0.5%±0.8%	11.5%±1.9%	85.8%±0.1%	100.47%
	2	50.9%±2.21%	3.9%±0.1%	0.8%±0.0%	10.9%±0.0%	85.1%±0.0%	100.84%
	3	31.2%±0.98%	0.7%±0.0%	0.8%±0.2%	5.9%±0.7%	93.3%±0.8%	100.84%
Suelos Aledaños	1	45.39%	6.2%±0.9%	2.6%±1.5%	12.8%±1.3%	81.0%±0.4%	102.56%
	2	74.51%	1.7%±0.0%	3.7%±0.4%	14.2%±0.0%	84.1%±0.0%	103.68%
	3	59.44%	2.7%±0.2%	4.5%±0.5%	14.1%±0.3%	83.2%±0.1%	104.49%
	Testigo	26.55%	1.2%±0.9%	5.1%±1.1%	11.2%±1.1%	87.6%±0.1%	105.07%

En esta tabla podemos ver que la humedad total es más grande para las muestras de suelos aledaños, en comparación a la de las fuentes geotérmicas, es se debe a que las muestras fueron tomadas en temporada de lluvias.

Si se observa la humedad remanente si bien es muy pequeña, esta debería ser casi nula, este resultado nos dice que tenemos silicatos y/o aluminosilicatos que mantienen el agua atrapada.

Para la materia orgánica se presentó lo esperado, ya que se encontró que la materia orgánica volátil es menor al 1% en las fuentes geotérmicas, y teniendo resultados de hasta 5 veces más en los suelos aledaños, siendo el que presenta la mayor cantidad el suelo

testigo, que era lo esperado ya que este suelo está alejado de las fuentes geotérmicas, y donde hay plantas y pasto. También se pudo ver con esto y con el contenido de cenizas que lo que tenemos en los suelos, son principalmente minerales y otros compuestos inorgánicos, y que por el tipo de suelo los que pueden estar en mayor abundancia son los silicatos y/o aluminosilicatos.

Análisis cualitativo: Para el análisis cualitativo los resultados se muestran en la siguiente tabla, mostrando ND para analitos no detectables, + que representa que el analito está presente, y ++ que representa que el analito está presente en gran cantidad. Esto se pudo determinar a ojo ya que, si está en gran cantidad el precipitado se da en mayor cantidad, o la coloración es más intensa.

Tabla 5: Resultados de análisis cualitativo de las muestras de las fuentes geotérmicas, de la digestión total.

Analito	Resultado
Plomo	ND
Mercurio	ND
Plata	ND
Bismuto	ND
Cobre	+
Cadmio	ND
Arsénico	ND
Antimonio	ND
Estaño	++
Cobalto	ND
Níquel	ND

Bario	ND
Estroncio	ND
Cloruros	+
Bromuros	ND
Boratos	ND

A partir de estos resultados se decidió la cuantificación del cobre, y se propone buscar en trabajos posteriores la cuantificación del estaño que se encuentra en grandes cantidades. A pesar de que se esperaba encontrar boro, las pruebas arrojaron que este elemento no está presente en nuestros suelos, y se pudo ver que la cristalería que tiene borosilicatos no presenta interferencias para la prueba realizada. Además, en base a la cuantificación cuantitativa que se hizo de halógenos totales, y con el análisis cualitativo para bromuros y cloruros, se pudo concluir que los cloruros son los halógenos que están en mayor cantidad en nuestras muestras.

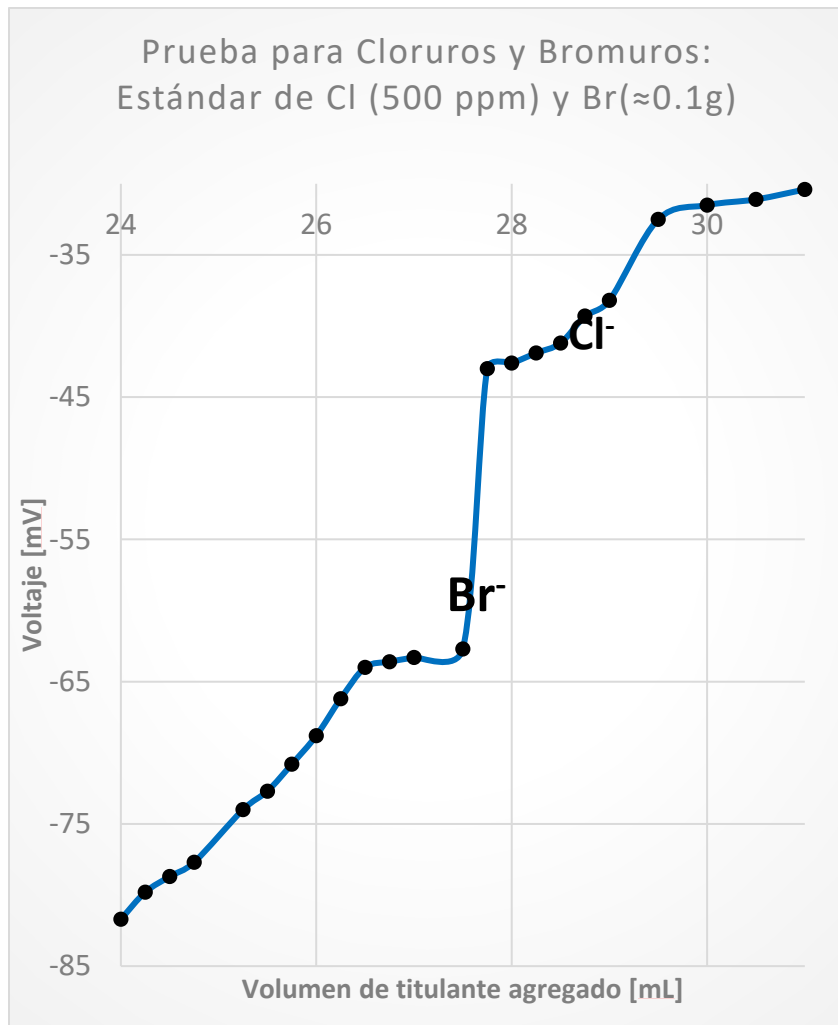


Gráfico 1: Titulación potenciométrica característica para mezcla de cloruros y bromuros

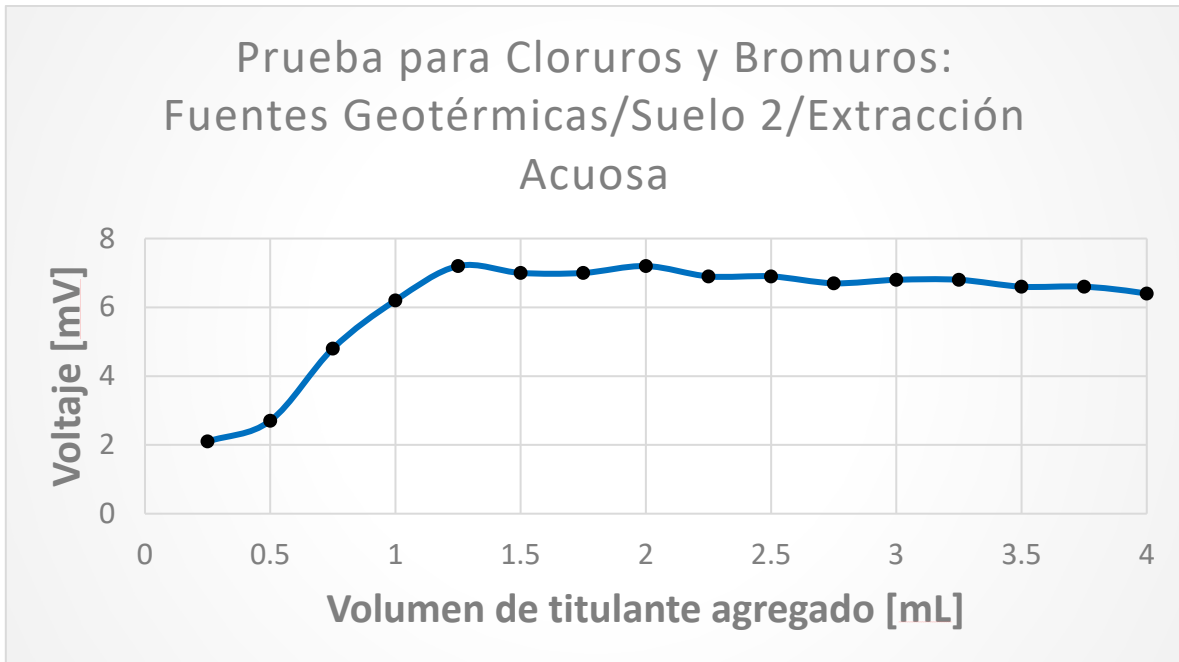


Gráfico 2: Titulación potenciométrica para verificar la presencia de bromuros y cloruros

Quantificación de cobre (Cu) por método colorimétrico: Los resultados obtenidos se calcularon a partir de la curva de calibración que se muestra a continuación:

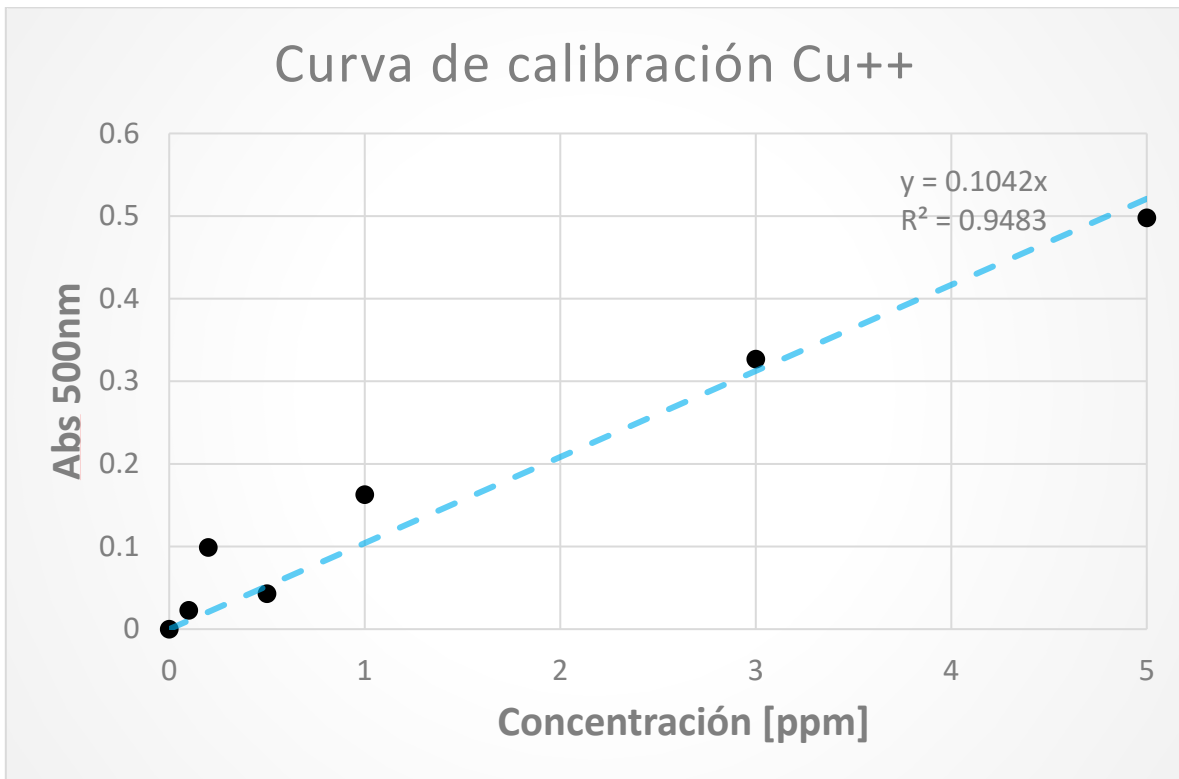


Gráfico 3: Curva de calibración del cobre por el método del carbamato.

A partir de la curva anterior se pudieron hacer los cálculos correspondientes para obtener la concentración de cobre por gramo de suelo seco, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6: Concentración de potasio en cada suelo en ppm/g suelo seco

Lugar de extracción	N° Suelo	Extracción ácida	Digestión total
Fuentes geotérmicas	1	4.22± 2.3	22.25±4.8
	2	ND	22.25±0.96
	3	11.32±2.69	33.11±10.55
Suelos Aledaños	1	ND	ND
	2	ND	ND
	3	ND	ND
	Testigo	ND	

Con los resultados mostrados en las tablas podemos ver claramente, como solo las fuentes geotérmicas contienen cobre, y en los suelos aledaños no fue detectable. Esto es una diferencia importante. Si vemos las cantidades reportadas para la digestión total de las muestras de las fuentes geotérmicas, vemos que a pesar de que los resultados son ciertamente grandes, de alrededor de 30 ppm, esta cantidad debajo del límite permitido de cobre en el suelo, el cual es de 80 ppm (Nicholson & J., 2007).

Cuantificación de aluminio (Al³⁺) mediante una titulación complejométrica:
 Primeramente, para poder hacer la determinación de aluminio, se valoró la solución titulante de NaF, con 3 mL de una solución de 1000 ppm de aluminio, dando como resultado la siguiente curva de titulación.

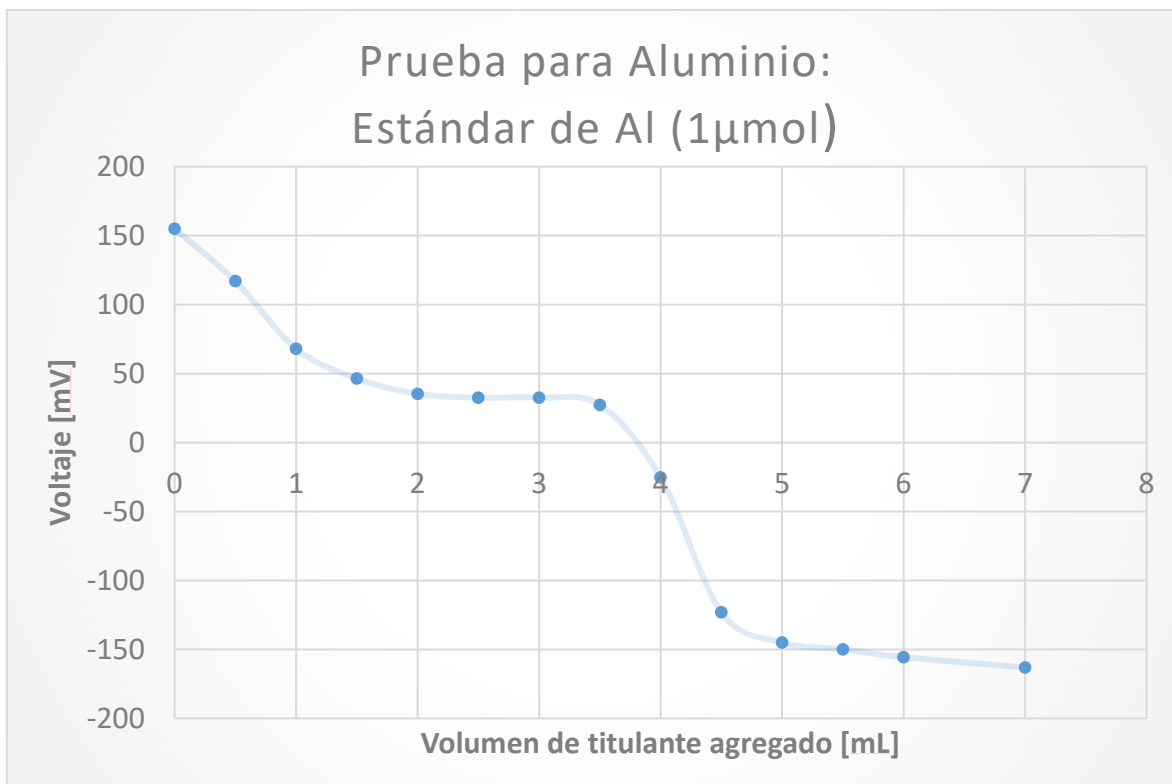


Gráfico 4: Curva de titulación para valoración del titulante de NaF

Con esto se obtuvo que la concentración real del titulante es de 0.0968 M. La titulación fue hecha de manera correcta, ya que presenta un comportamiento similar al presentado en la literatura. Después se hicieron las pruebas con las muestras, obteniendo que no se tienen aluminio detectable con este método, esto se muestra en la siguiente curva de titulación de una de las muestras, en la cual por más titulante que se agregó, nunca se presentó el cambio de voltaje, el cual nos daría la cantidad de aluminio presente.

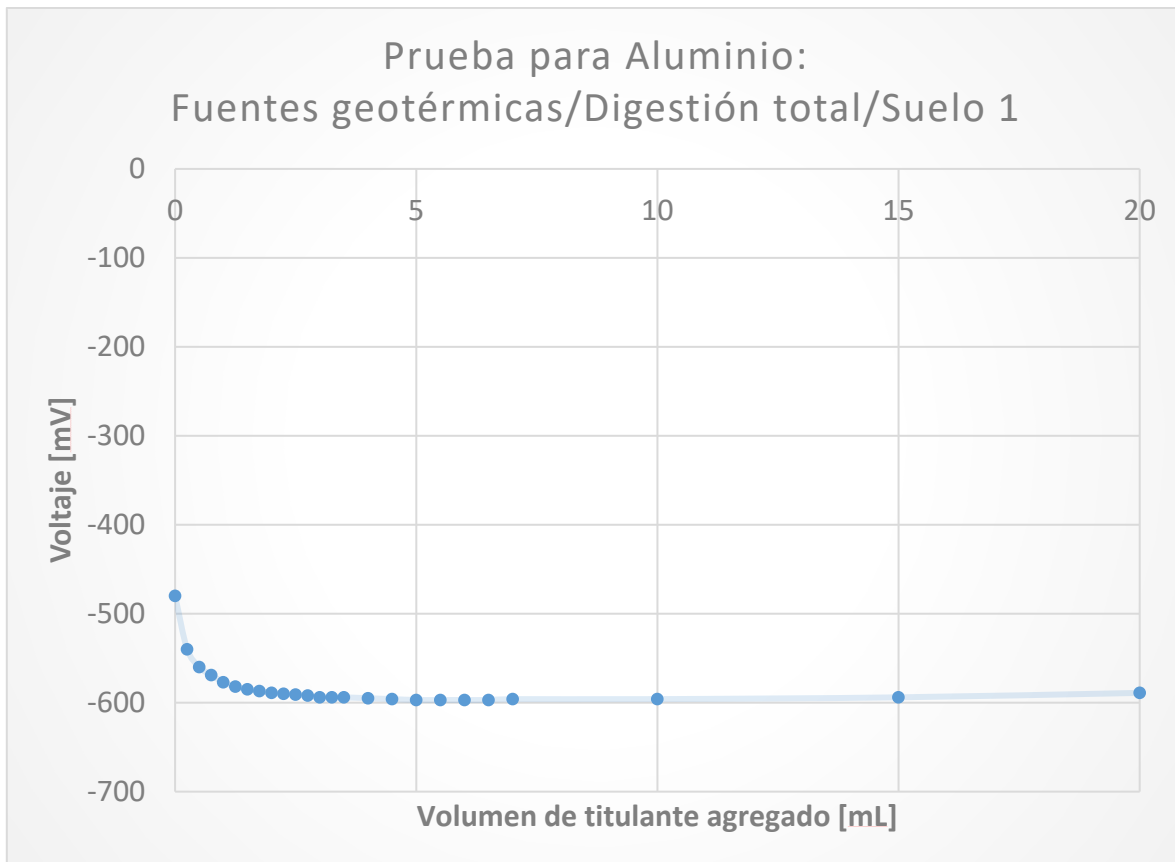


Gráfico 5: Curva de titulación para la cuantificación de aluminio en la muestra 1 de fuentes geotérmicas

Para corroborar que el aluminio no estaba presente, se contaminó una muestra de suelo con una concentración conocida de aluminio, y la curva de titulación obtenida fue la siguiente:

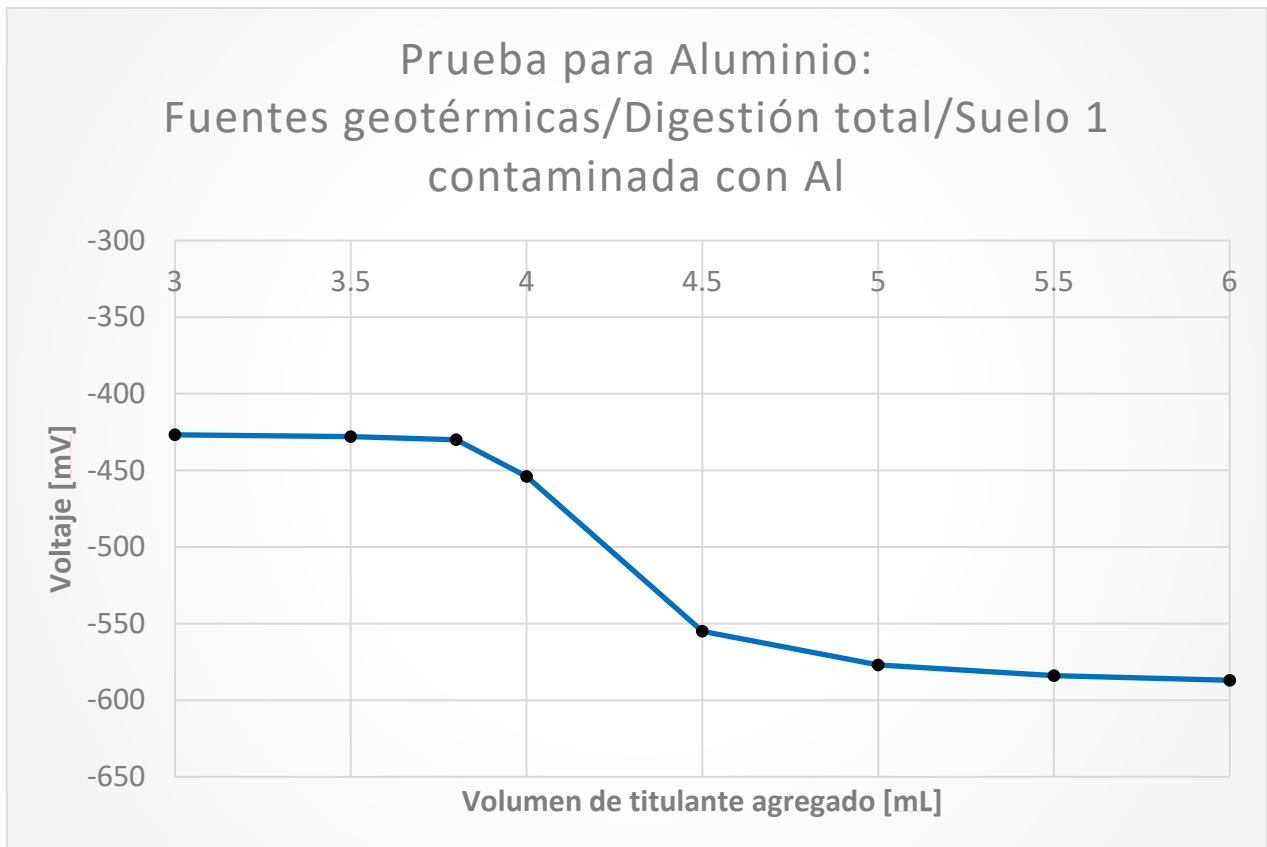


Gráfico 6: Curva de titulación para corroborar la ausencia de aluminio en las muestras.

La curva nos muestra que efectivamente no tenemos aluminio en las muestras, o al menos no detectable con este método, ya que con la concentración que se obtiene con la curva es la misma que con la que se contaminó la muestra. Este resultado resulta ser muy trascendente ya que el semestre pasado se había obtenido a partir de una prueba cualitativa, la presencia de aluminio en nuestras muestras. Por lo anterior mencionado sería necesario hacer otro tipo de prueba para corroborar que el aluminio no está presente.

Cuantificación de fluoruros (F^-) mediante ISE: Primeramente, para poder reducir los errores en la medición de las muestras y así obtener resultados con poca incertidumbre, se construyó una curva de calibración.

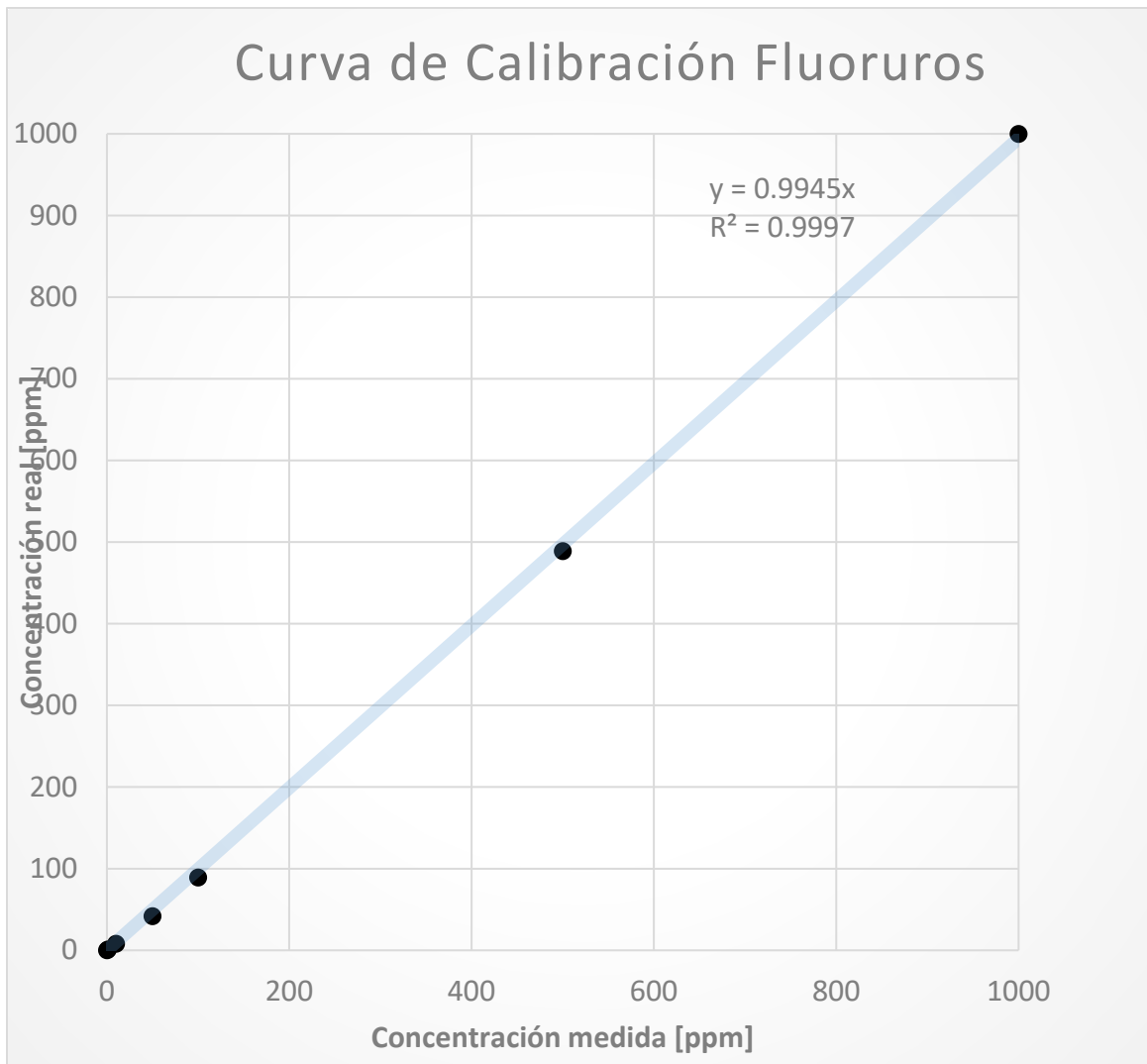


Gráfico 7: Curva de calibración para cuantificación de fluoruros con ISE

Con la curva anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7: Concentración de fluoruros en cada suelo en ppm/g suelo seco

Lugar de extracción	N° Suelo	Extracción Acuosa	Extracción Ácida	Digestión Total
Fuentes Geotérmicas	1	4.08	2.92	14.99
	2	0.82	0.02	0.52
	3	1.52	0.24	0.17

Suelos Aledaños	1	1.44	2.05	5.99
	2	0.01	0.02	11.00
	3	0.12	18.23	9.51
	Testigo	1.47	0.02	

Con los datos anteriores podemos ver que la cantidad de fluoruros es muy similar en los suelos aledaños en comparación a las fuentes geotérmicas, y se observa que la cantidad medida de fluoruros es mayor en la extracción acuosa que la extracción acida, esto se puede deber a que algunos fluoruros reaccionan con el ácido formando ácido fluosilícico, el cual es volátil, esto solo se presenta para el análisis de las muestras de fuentes geotérmicas.

La mayor concentración se observa en las digestiones totales, pero en general no es muy grande ya que la concentración mayor es de poco menos de 15 ppm, muy alejado del límite permisible, el cual es de 500 ppm en suelos (Bhattacharya & Chandra Samal, 2018). Lo que es un parámetro a considerar es los fluoruros presentes en las extracciones acuosas, que son los fluoruros solubles en agua, por lo que con las lluvias pueden disolverse y lixivarse a mantos freáticos, o bien ser absorbida por la flora cercana, y el nivel en el que esta si es altamente contaminante, ya que está cerca del límite permisible para agua potable, el cual es de 1.5 ppm (Bhattacharya & Chandra Samal, 2018).

Cuantificación de calcio (Ca^{+2}) y cloruros (Cl^-) mediante ISE:

Como no se obtuvieron resultados confiables con ninguno de los ISE, no hay resultados a reportar más que las gráficas de voltaje obtenidas para cada electrodo con y sin buffer iónico, graficas donde se muestran las grandes variaciones de voltaje.

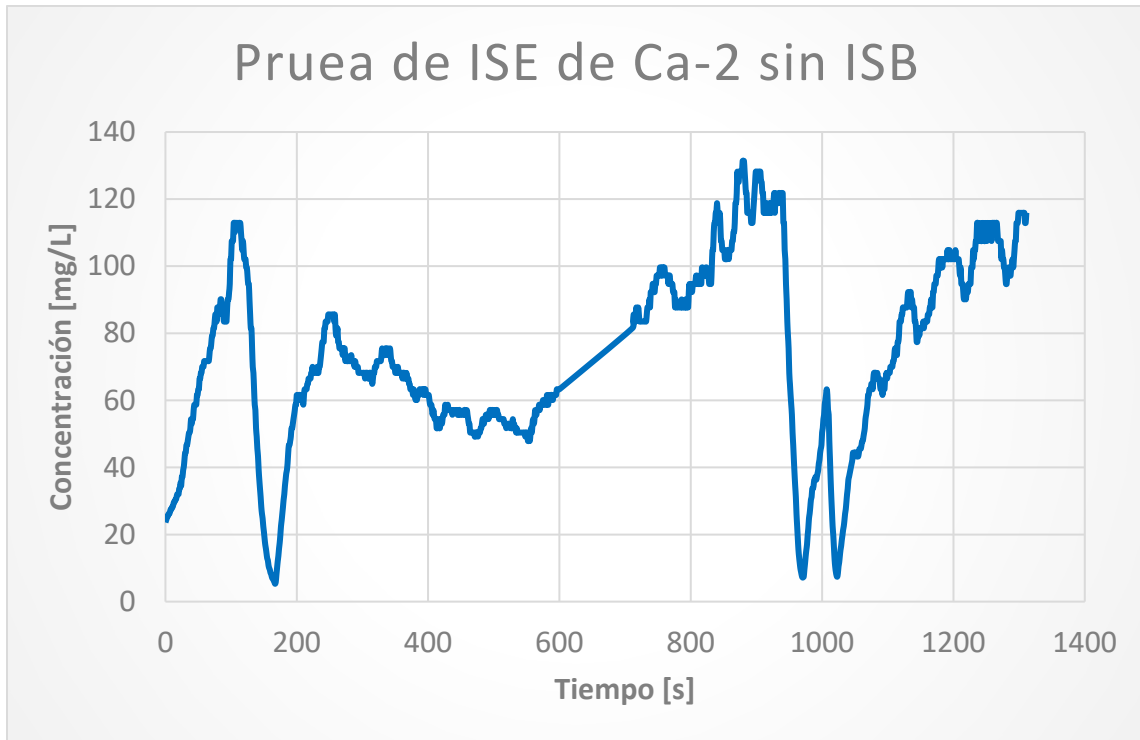


Gráfico 8: Variación de voltaje del ISE de Ca²⁺ sin buffer iónico

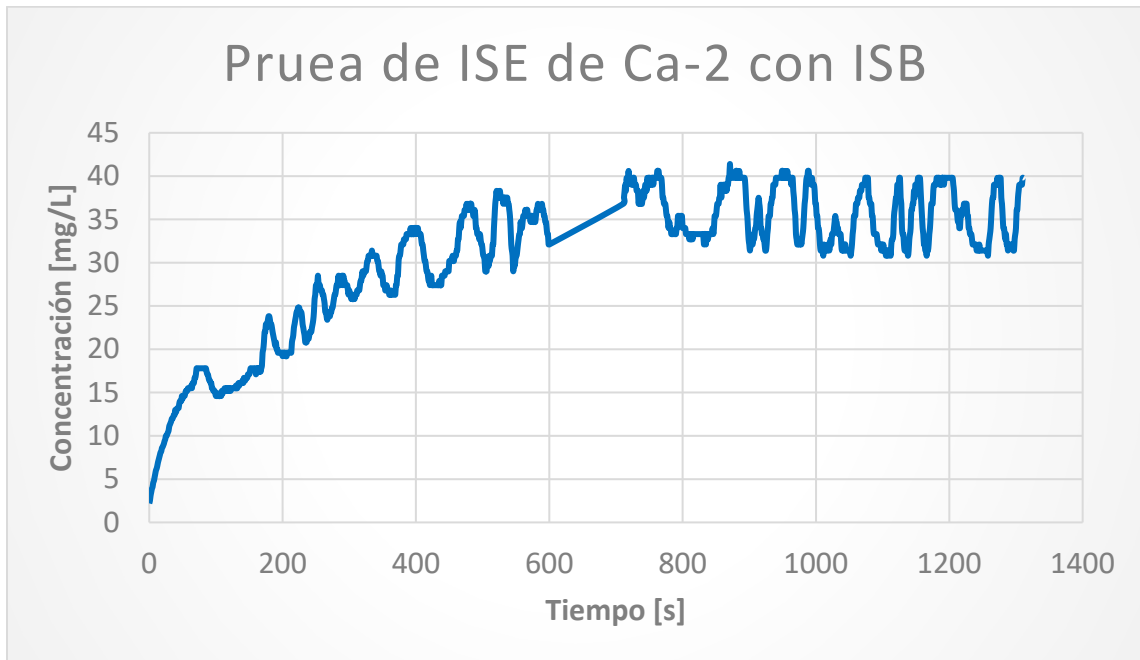


Gráfico 9: Variación de voltaje del ISE de Ca²⁺ con buffer iónico

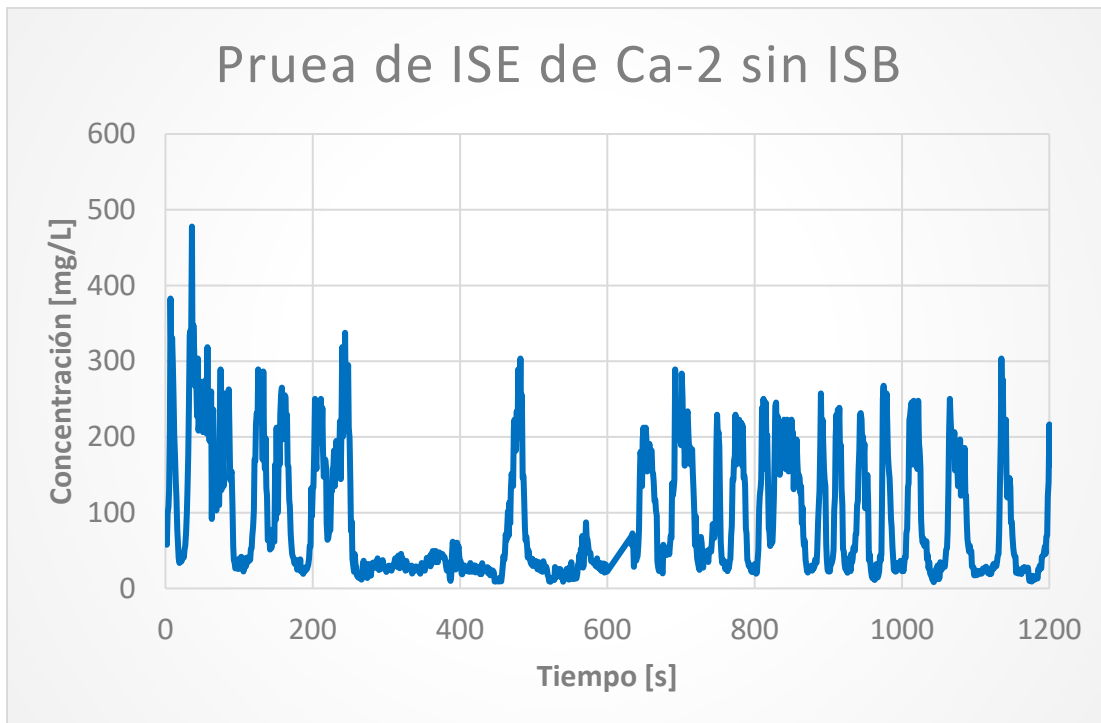


Gráfico 10: Variación de voltaje del ISE de Cl⁻ sin buffer iónico

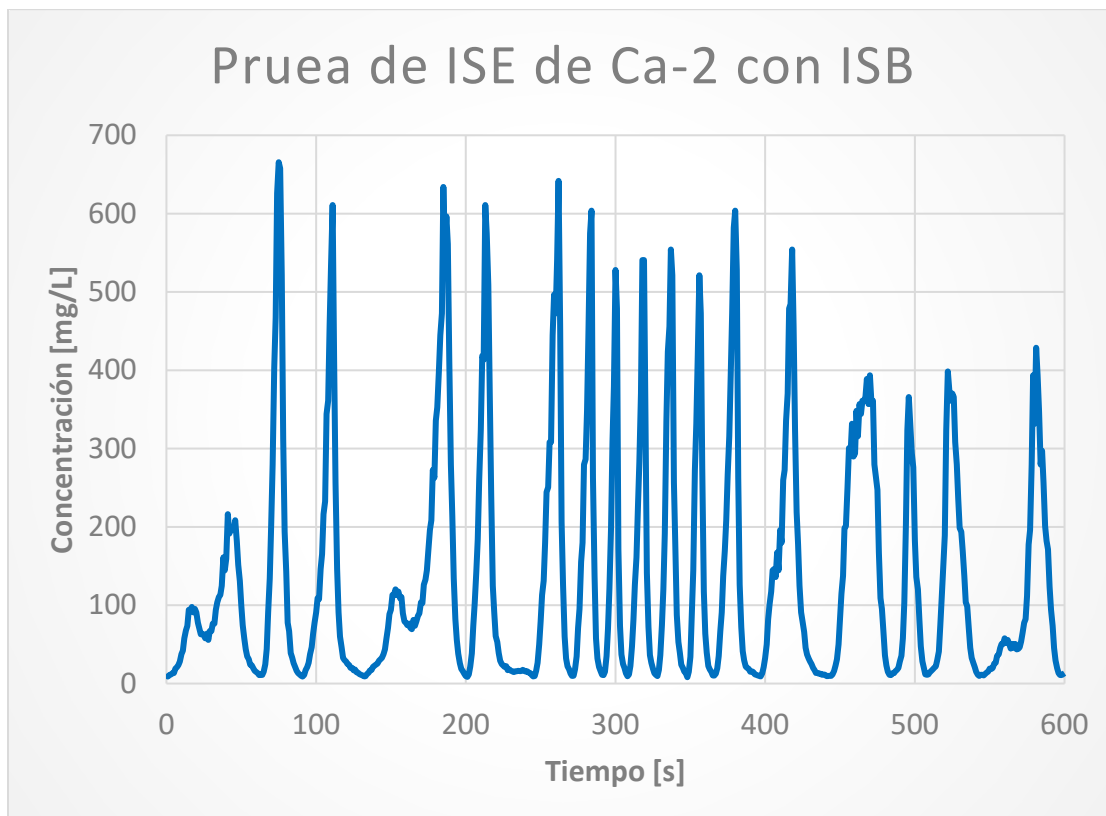


Gráfico 11: Variación de voltaje del ISE de Cl⁻ con buffer iónico

Como se puede ver para ninguno de los casos el voltaje es estable en ningún punto, y las variaciones son muy grandes, por lo que presentar datos obtenidos con estos equipos presentarían mucha incertidumbre, y no tendría sentido analizarlos.

4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

- Aprendizajes profesionales

Este proyecto hizo que aprendiera y mejorara mis técnicas como analista en el laboratorio, me ayudo a ser más cuidadoso a la hora de realizar experimentos, y me dio más experiencia a la hora de la experimentación. Me ayudo a ver que en ya en el campo laboral las prácticas y los experimentos que se realizan, no son tan fáciles y rápidos como las practicas a las que estas acostumbrado realizar en la escuela, ya que en el campo laboral, no siempre se logra a la primera el cometido, esto porque hay muchas variables que no se consideran, lo que provoca errores en la experimentación, lo cual no está mal, sino que nos ayuda a mejorar y ver qué es lo que está afectando a mi experimento, que es lo que mete ruido a mis valores. Muchas veces de estos errores, de estas perturbaciones que se presentan, se encuentran cosas que al principio no se buscaban, y que al final resultan ser un gran hallazgo que puede generar nuevo conocimiento y puede dar un nuevo enfoque al proyecto que se realiza.

Pude comprobar que el trabajo experimental no es rápido, ya que te puedes pasar días enteros en el laboratorio y no obtener ningún resultado, pero esto te hace adquirir experiencia, y te hace mejorar tu capacidad para realizar experimentos.

Uno de los aprendizajes que me pareció más importante, es que debemos adaptarnos a los medios y materiales que tenemos para trabajar, que esto no sea una limitante, ya que esto es lo que nos distingue como ingenieros, trabajar y lograr los objetivos con los medios que se tienen.

Algo que aprendí y me dejo mucho en mi vida profesional, es el llevar a cabo análisis cualitativo a partir de una marcha analítica, y de reacciones características, ya que si bien este análisis puede ser tardado, nos puede dar resultados de que analitos

están presentes y cuáles no, y a partir de lo encontrada trabajar, y no aplicar ciertos procedimientos o técnicas cuantitativas que muchas de las veces son tardadas y costos, para al final obtener como resultado que el analito cuantificado no está presente. Además de que te ayuda a tener un esbozo de que esperar en futuros análisis. Estos métodos parecen ser muy rápidos, pero realmente son tardados, por el cuidado y la delicadeza con la que deben ser llevados a cabo.

Otra cosa que mejore fueron mis habilidades como analista, ya que antes estaba cerrado a que tenía que obtener resultados tal cual como mencionaba la literatura, pero ahora sé que hasta los errores son resultados, que si son analizados nos dan más información de la que pensamos. Además, pude corregir muchos errores y malas costumbres que tenía al desarrollar experimentos, y creo que este proyecto me ayudo a bajar el error humano que pongo a los experimentos.

- Aprendizajes sociales

En mi aprendizaje social me quedo como alguien que está generando información, que esta abonando a una base de datos, los cuales servirán como punto de referencia y partida para nuevos proyectos ya se de investigación, o bien ya como un criterio para definir el uso de suelo de las fuentes geotérmicas, el cual sería un impacto que afectaría de buena o mala manera a todas las personas que vivimos en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Se abono más a la información que ya se tenía de las fuentes geotérmicas, y se sigue corroborando que el querer explotar estas fuentes geotérmicas no es una opción viable, ni tampoco se podría usar el suelo cercan para la agricultura, por la presencia de ciertos analitos que son tóxicos, pero se tienen que hacer más estudios para tener más pruebas que apoyen o refuten la idea de explotar esa área del Bosque de la Primavera.

- Aprendizajes éticos

En cuanto a lo ético, este proyecto me dejo un gran aprendizaje, y es que es preferible decir que un resultado fue no concluyente, o que hubo errores en las

mediciones, a poner resultados inventados, o bien que no se tiene la certeza de que son correctos, esto porque la información que nosotros reportemos será utilizada por otras personas como base para una planeación de trabajo, lo cual puede entorpecer también análisis posteriores, o generar falsas expectativas de lo que se tiene o no. Por eso siempre es mejor plasmar la verdad, que una mentira, que, si bien al principio no parece ser grave y parece ser imperceptible, después puede tener grandes repercusiones, y obviamente saldrá a la luz.

- Aprendizajes en lo personal

Este proyecto me ayudó a ver que para hacer un trabajo más fácil hay que contar con distintos puntos de vista, hay que buscar ayuda de los demás, y hay que ayudar cuando te lo piden porque no sabes cuándo necesitaras ayuda. En lo personal me sentí muy a gusto trabajando en el proyecto, a pesar de que no pude trabajar mucho con mi compañero porque nuestros horarios no coincidían, lo que se necesitaba trabajar juntos, uno lo comenzaba por parte de la mañana y el otro lo seguía en la tarde.

Fue de gran impacto para mí la ayuda que brindaron los profesores a lo largo del proyecto, ya que a pesar de que no estaban relacionados con el de manera directa, cuando estaba realizando mis experimentos, o cuando les externaba una duda, si se me presentaba algún problema, muchos profesores me ayudaron a resolver mis dudas, y mejorar en el proyecto, cada uno me daba parte de su conocimiento y me ayudaba a ver y a analizar mis resultados desde distintos enfoques, y esto me ayudó a comprender más lo que hacía y darle una mejor explicación a los resultados que obtenía.

Me quedaron también varios aspectos a mejorar, del cual considero yo el más importante, la mejor organización y administración de los tiempos, ya que si bien el PAP es flexible en cuanto a los tiempos, si dejas todo al final se va acumulando el trabajo, y que si no administras bien el tiempo en el laboratorio, si llegas sin saber qué hacer, no podrás avanzar mucho, en cambio si tienes un plan de trabajo más o menos esbozado, los avances son mejores, porque no pierdes nada de tiempo, y así

el trabajo que pudiste haber tardado 5 horas en hacer porque no sabías que hacer y divagaste mucho, lo podrías realizar en una hora si ya tienes hecho un plan de trabajo.

Por último, creo que, gracias a este PAP, me volví más responsable y más cuidadoso con todas las cosas, y que siempre sin importar las adversidades se puede cumplir cualquier meta que me proponga.

5. Conclusiones

Se pudo lograr el objetivo de que con técnicas de bajo costo y de fácil implementación cuantificar la mayoría de los analitos que propusieron, los que no se lograron cuantificar, no fue por falta de una técnica o porque solo se pueda cuantificar con técnicas especializadas y costosas, más que nada fue por falta de tiempo, y porque se presentaron algunas situaciones inesperadas, las cuales ya se tienen contempladas e identificadas para trabajarlas en trabajos posteriores. Se pudo ver a su vez que a pesar de que en muchos de los casos no se usaran las técnicas de cuantificación más sensibles y precisas, se obtuvieron datos muy buenos y coherentes, que para fines prácticos nos dan la información requerida. Esto nos hace ver que muchas de las veces el no tener una gran precisión, no implica que los resultados obtenidos sean malos.

A pesar de que aún falta mucho por analizar, se pudo decir que no es viable el explotar las fuentes geotérmicas del Bosque de la Primavera, porque por la temperatura que estas tienen, no es la suficiente para la generación de energía a gran escala.

El proyecto de este semestre fue un buen punto de referencia, para generar y abonar conocimientos y experiencias que ayudaran en proyectos posteriores, así como y que es lo que se necesita atacar y analizar más a fondo, y a que ya no es relevante seguir estudiándolo.

El Proyecto a futuro basado en lo aprendido durante este semestre, será verificar que tanta repetitividad tiene los métodos utilizadas, que métodos se pueden

mejorar y como para tener resultados más exactos. Debemos comprobar con laboratorios externos, que tan exactos son los resultados que obtuvimos. Se identificaron a su vez ciertas limitaciones de nuestros experimentos. También se encontraron más analitos que son de interés, como lo es el estaño el cual parece estar en gran cantidad

También es necesario resaltar que no solo se obtuvo un número en cuanto a la cuantificación de analitos, sino que también se pudo analizar a que se debe cierto comportamiento en las composiciones, y que tan diferentes son los suelos de fuentes geotérmicas, en comparación a los suelos aledaños, y porque se dan estos. Además, adicionalmente es buen no solo tener un número, sino compararlo con los límites permitidos por las regulaciones ambientales, y ver en realidad que tan grandes o pequeños son los resultados obtenidos en comparación a los límites ya mencionados, y así el análisis es mejor.

Para ser dar conclusiones más específicas, podemos decir que solo hay presencia de cobre en las fuentes geotérmicas, y está dentro a los límites ambientales permisibles. Por la experimentación realizada para la cuantificación de aluminio, se cree que la presencia ácido silícico nos dio un falso positivo de presencia de aluminio. En cuanto a las pruebas físicas se concluye con que el suelo de fuentes geotérmicas es muy pobre, con bajo contenido materia orgánica, en comparación a la de los suelos aledaños que contiene más del doble que las fuentes geotérmicas. Para los halógenos, se puede decir que los cloruros son los que están en mayor cantidad.

Como trabajo a futuro se plantea hacer una verificación de la presencia de aluminio con el método colorimétrico del naranja de Xilenol, realizar la cuantificación de calcio y magnesio por métodos sin interferencias. Realizar a manera primordial la cuantificación total de silicatos, ya que se cree estos son el componente principal de nuestros suelos, y los que les confieren varias características y propiedades a nuestros suelos. Es necesaria la cuantificación de estaño dado que este se encontró en gran cantidad, así como la cuantificación por separado de los halógenos.

Además, por los problemas que se presentaron este semestre y el pasado con la cuantificación del calcio, buscar un método y aplicarlo para la cuantificación de este el cual tenga la mayor sensibilidad posible. Es necesario también tener una muestra de suelo testigo más grande para que sea más representativo el análisis, y la comparación con las fuentes geotérmicas tenga más valor.

Agradecimientos

Agradezco al departamento de procesos tecnológicos e industriales del ITESO, por el espacio, tiempo, materiales y reactivos brindados para la realización del proyecto. A su vez agradecemos la asesoría y apoyo del Dr. Fernando Hernández Ramírez, Mtro. Nicolás Hernández Gil, de la Mtra. Lydia Hernández Rivera, así como de los almacenistas de los laboratorios de Ingeniería Química, Ricardo, Esteban y Eulalio por tener siempre la disposición de ayudar facilitar espacio, material y reactivos durante todo el tiempo que se llevó la experimentación.

6. Bibliografía

- Alvarado Castro, E. R., & Vélez Lucero, L. G. (2011). *Análisis químico de fertilidad del suelo del Huerto Agroecológico Universitario*. San Pedro Tlaquepaque: ITESO.
- Arteta, L. (2003). *Manual edafológico de campo*. Xalapa, Veracruz : Universidad Veracruzana Sección Editorial.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis. Volume 1: Agricultural Chemicals; Contaminants, Drugs*. Arlington, Estados Unidos de América: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Benton Jones, J. J. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plants analysis*. Boca Raton, E.U.A: CRC Press.
- Bhattacharya, P., & Chandra Samal, A. (2018). *Fluoride contamination in groundwater, soil and cultivated foodstuffs of India*. India: Research Gate.
- Blog Anillo Primavera. (27 de Mayo de 2017). *Blog Anillo Primavera* . Obtenido de Blog Anillo Primavera : <https://blog.anilloprimavera.org/>.
- Bosque La Primavera . (29 de Mayo de 2017). *Bosque La Primavera* . Obtenido de Bosque La Primavera : Bosque La Primavera <http://www.bosquelaprimavera.com/>
- Bowers, R. C., Hsu, L., & Goldman, J. A. (1961). An Interpretation of the End Point Error in the Potentiometric Titration of Bromide and Chloride Mixtures with Silver Nitrate. *Analytical Chemistry*, 190-194.
- Cepeda Doval, J. M. (2002). *Química de Suelos*. México : Editorial Trillas.
- Christian, D. G. (2009). *Química Analítica* . Ciudad de México: McGrawHill.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2000). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera México*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- Criaud, A., & Fouillac, C. (1989). The distribution of arsenic (III) and arsenic (V) in geothermal waters: Examples from the Massif Central of France, the Island of Dominica in the Leeward Islands of the Caribbean, the Valles Caldera of New Mexico, U.S.A., and southwest Bulgaria. *Chem. Geol.*, 76, 259–269.
- Day, R. A., & Underwood, A. L. (1989). *Química Analítica Cuantitativa*. Nahucalpan de Juárez, Estado de México: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). *NOM-021-SEMARNAT-2000(QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS. ESTUDIOS, MUESTREO Y ANÁLISIS.)*. Diario Oficial de la Federación: UNINET.
- El Informador. (2008). *Autorizan Geotermia en la Primavera: El Informador*. Obtenido de El Informador: <http://www.informador.com.mx/jalisco/2008/57205/6/autorizan-geotermia-en-la-primavera.htm>.
- EL INFORMADOR. (2016). *Poncitlán y sus enfermos renales: EL INFORMADOR*. Obtenido de EL INFORMADOR: <http://www.informador.com.mx/jalisco/2016/659527/6/poncitlan-y-sus-enfermos-renales.htm>.
- Eliason, R., Goos, R. G., & Hoskins, B. (2015). *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*. Wisconsin: Official NCERA-13 Representatives.
- EPA. (1996). *ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS*. EPA.
- Eugenio Saz, P. (1926). *Análisis Químico Mineral*. Barcelona, España: Instituto Químico de Sarría.
- Flashka, H. A., Barnard, A. J., & E., S. P. (1973). *Química Analítica Cuantitativa; Volumen II Concisa Introducción a la Práctica*. Mexico, D.F.: Compañía Editorial Continental.
- Gendenjamts, O. (2003). *E. INTERPRETATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF GEOTHERMAL FLUIDS FROM ÁRSKÓGSSTRÖND, DALVÍK, AND HRÍSEY, N-ICELAND AND IN THE KHANGAI AREA, MONGOLIA*. United Nations University.
- Geothermal Communities . (28 de Mayo de 2017). *Chapter 4 - Chemistry of Thermal Fluids: Geothermal Communities*. Obtenido de Geothermal Communities : <http://www.geothermalcommunities.eu/elearning/chapters>.
- Hanson, T. J., & Smetana, K. M. (1975). *Determination of Aluminum by Four Analytical Methods*. Springfield: Atlantic Richfield Hanford Company.
- Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Hernández Ramírez, F. (2017). *Practica 3 – Química Inorgánica Descriptiva Compuestos de coordinación en química analítica (Manual del Profesor)*. San Pedro Talquepaque: ITESO, Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales.
- Hernández, F., Hernández Rivera, L., De Alba Martínez, H., Pardiñas Mir, J. A., Pérez Bernal, L. E., Valdés Valdés, S., (2017). *Evaluación de variables ambientales en los polígonos del ITESO en el Bosque la Primavera (Proyecto No. 1)*. San Pedro Talquepaque: ITESO.

- Hochstein, M. P., Brothridge, J., & Simmons, S. F. (1995). *CHEMICAL VARIATIONS IN THE ROCKS OF LA PRIMAVERA GEOTHERMAL FIELD (MEXICO) RELATED WITH HYDROTHERMAL ALTERATION*. . Auckland: Geothermal Institute, University of Auckland.
- Hodder, A. P. (s.f.). *GEOTHERMAL WATERS: A SOURCE OF ENERGY AND METALS*. Waikato: Department of Earth Sciences, University of Waikato.
- Instituto Catalán de Energía. (30 de Noviembre de 2018). *Instituto Cántalan de Energía: Tipos de energía geotérmica*. . Obtenido de Instituto Cántalan de Energía: <http://icaen.gencat.cat/es/energia/renovables/geotermica/tipus/>
- Jackson, M. L. (1970). *Análisis Químico de Suelos*. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.
- Kiara, F. N. (2015). *CONCENTRATIONS OF SELECTED TRACE ELEMENTS AND IONS IN SPENT GEOTHERMAL LIQUID AND ASSOCIATED IMPACTS ON GROUNDWATER, SOIL AND VEGETATION IN THE MENENGAI GEOTHERMAL FIELD*. . United Nations University.
- Liu, Y. (2015). *Analysis of Geochemical Characteristics of Geothermal Water in Beijing*. . Beijing: International Geothermal Association.
- Lu Cheng, K., & Bray, R. H. (1953). Two Specific Methods of Determining Copper in Soil and in Plant Material. *Analytical Chemistry*, 655-659.
- Luna, M. C. (2010). *Trabajo Práctico de Laboratorio: Análisis Cualitativo de Cationes. Marcha Sistemática. Identificación de algunos cationes de interés bromatológico*. Catamarca, Argentina: Editorial Científica Universitaria: Universidad Nacional de Catamarca.
- Martínez Rivera, L. M., Sandoval Legazpi, J. d., & Ángel, A. G. (1999). *Glosario de la ciencia del suelo*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Metrohm. (1 de Marzo de 2011). *Metrohm: Potentiometric titration of chloride and bromide in the presence of each other*. Obtenido de Metrohm: <https://www.metrohm.com/en-us/applications/AB-027#>
- Muñoz Iniestra, D. J., & Soler Aburto, A. (2013). *Edafología: Manual de Métodos de Análisis de Suelos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores de Iztacala.
- Nicholson, F. A., & J., C. B. (2007). *Sources and Impacts of Past, Current and Future*. Meden Vale Mansfield,: ADAS Gleadthorpe.
- Ortiz Villanueva, B. (1973). *Edafología*. Chapingo, México: PATENA A.C.
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis*. New York: Springer Science+Business Media .
- Partida, J. C. (12 de Febrero de 2017). *La Jornada :Atenderán a enfermos renales en Ponciltán*. . Obtenido de La Jornada : <http://www.jornada.unam.mx/2017/02/12/estados/025n1est>.
- Partida, J. C. (28 de Enero de 2017). *Exigen atender en Ponciltán casos de fallo renal por agua envenenada: La Jornada*. Obtenido de La Jornada: <http://www.jornada.unam.mx/2017/01/28/estados/023n1est>.
- Peña Alvarez, C. M. (03 de Enero de 2011). *Determinación de Cenizas por el Método de Calcinación: avibert.blogspot.mx*. Obtenido de avibert.blogspot.mx: <http://avibert.blogspot.mx/2011/01/determinacion-de-cenizas-por-el-metodo.html?m=1>

- Radic, N., Prugo, D., & Bralic, M. (1988). POTENTIOMETRIC TITRATION OF ALUMINIUM WITH FLUORIDE IN ORGANIC SOLVENT + WATER MIXTURES BY USE OF A FLUORIDE-SELECTIVE ELECTRODE. *Electroanalytical Chemistry*, 87-98.
- Red Arquitectura. (2012). *¿Qué significa que el bosque de la Primavera sea Reserva de Biosfera?* . Guadalajara.
- S., P. C. (1944). *Soil and Plant Analysis*. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Sánchez Muñoz, M. T. (2008). *Una aproximación vibracional al estudio in situ de los procesos de síntesis de tamices moleculares: obtención de sílice mesoporosa y de aluminosilicatos mesoporosos a partir de precursores de zeolitas*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.
- Sandell, E. B. (1944). *Colorimetric Determination of Traces of Metals*. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Sandoval-Moreno, A., & Ochoa-Ocaña, M. A. (2010). Grupos locales, acceso al agua y su problemática de contaminación en la ciénega de Chapala, Michoacán. *Econ. Soc. Territ.* , 10, 683–719 .
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). *Principios de análisis instrumental*. Ciudad de México: CENGAGE Learning.
- Trujillo-Piña, A. L., Vega Sánchez, P., & Barajas Bermúdez, L. (2014). Potenciometría: Usos y Aplicaciones. *CienciaCierta*, 15-17.
- Vogel, A. I. (1969). *Química Analítica Cualitativa*. Buenos Aires, Argentina: Kapelusz.
- Vogel, A. I. (1979). *Textbook of micro and semimicro qualitative inorganic analysis*. Londres, Inglaterra: Logman.
- Walton, H. F., & Domínguez, X. A. (1970). *Principios y métodos de análisis químico*. México: Reverté.
- Wanyonyi, E. W. (2014). *FLUID-ROCK INTERACTION AND INITIAL AQUIFER GEOCHEMISTRY IN THE OLKARIA GEOTHERMAL SYSTEM*. . United Nations University.
- Worthen, E. L., & Aldrich, S. R. (1980). *Suelos Agrícolas su Conservación y Fertilización*. Ciudad de México, México: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana.
- Zelada Quán, Y. (2014). *ANALYSIS OF VARIATIONS IN THE CHARACTERISTICS OF THE GEOTHERMAL FLUID PRODUCED FROM THE SUDUREYRI LOW-TEMPERATURE GEOTHERMAL SYSTEM IN NW-ICELAND*. . NW-ICELAND: United Nations University.