

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

**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**  
**(Parte II)**

**PRESENTA**

Ingeniería Química: Martín Chávez Montoya (PAP II)

Profesor y responsable del PAP: Dr. Fernando Hernández Ramírez  
Tlaquepaque, Jalisco, diciembre de 2018

## 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.*

*Mediante las actividades realizadas en el PAP, se integra el servicio social y/o tesis. En el presente documento se describen y se reportan las actividades o métodos experimentales realizadas a lo largo del proyecto.*

### Resumen

Se estudiaron los suelos de tres pozos de salidas de vapor de fuentes geotérmicas de la zona conocida como planillas del Bosque la Primavera, la recolección de los suelos fue puntual y representativa de cada pozo, a los suelos se les realizó un tratamiento donde se secaron y posteriormente se molieron y tamizaron; se determinaron propiedades físicas y fisicoquímicas tales como pH, conductividad, textura, humedad, materia orgánica y cenizas, todas ellas a partir de métodos estándar. Se realizaron tres extracciones distintas, una en agua destilada, una en una solución ácida Carolina del Norte y la última una digestión total, con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno; se determinaron varios analitos de interés, tales como halogenuros totales por medio del método de Mohr de los cuales habría que mencionar el método de la curcumina para la detección cualitativa de boratos, fluoruros por ISE, cobre por método colorimétrico y aluminio ( $Al^{+3}$ ) por ISE de fluoruros.

## 1. Introducción

### 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.

**Objetivo particular:** Determinar de manera cualitativa y/o cuantitativa la presencia de halógenos totales empleando reacciones características.

### 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, aunque la información específica para el BLP es escasa. 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. 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.

El proyecto global involucra a varios departamentos del ITESO, como el Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano (DHDU), 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.

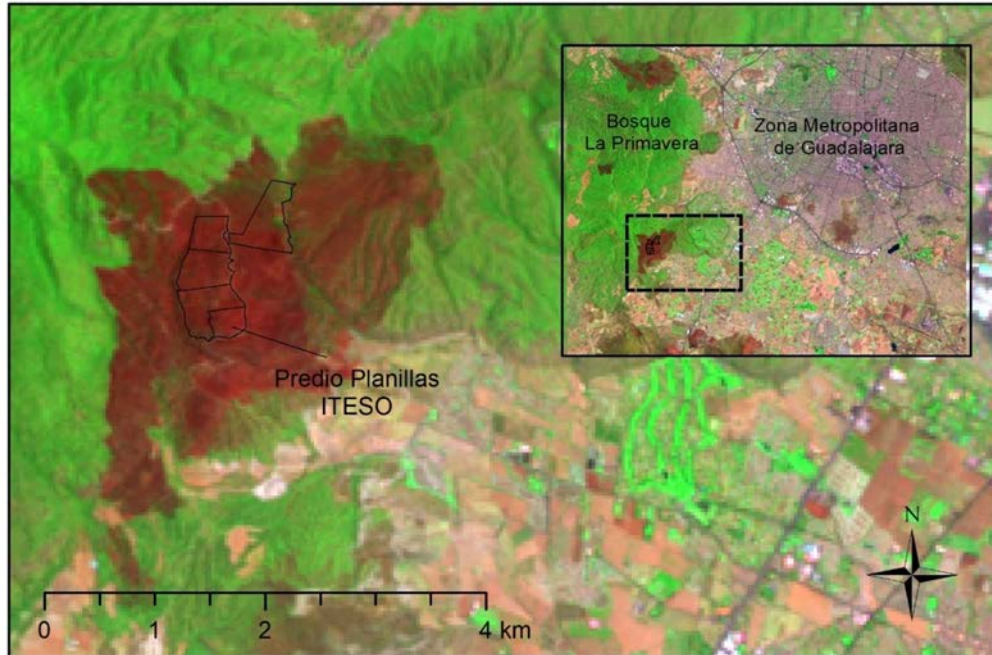
Entonces, se puede ver que una parte del proyecto implica la cuantificación de analitos en suelos provenientes de la vecindad de fuentes geotérmicas, en particular aquellas que se

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.

#### 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). 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. Su reconocimiento como Reserva de la Biósfera por la UNESCO dentro del programa MaB Hombre y Biósfera data del año 2006. 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.

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 [20], 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 contra el 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, laboratorios externos y en los polígonos que están bajo su custodia en el Bosque la Primavera.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Sustento teórico y metodológico

A partir de la Reforma Energética de 2014, y con la aprobación de la Ley de Energía Geotérmica, se ha puesto particular interés en el aprovechamiento de los pozos geotérmicos del Bosque La Primavera, sin embargo, la exploración y explotación de dichas energías podría traer consigo consecuencias, tanto para la flora y fauna del bosque como para los habitantes de las zonas aledañas.

A pesar de los grandes beneficios energéticos disponibles en las fuentes geotérmicas, se debe tener en consideración que dichas fuentes, pueden ser causantes de contaminación en la superficie, sobre todo por la composición química del agua contenida, alta concentración de minerales, sales y metales pesados. Infiltración de agua proveniente de fuentes de este tipo pueden provocar la dispersión de contaminantes en la zona no saturada del suelo, en los acuíferos cercanos y en escurrimientos superficiales.

El bosque de la primavera ha sobrevivido por 140 mil años, y tiene la capacidad de sobrevivir aún más, a diferencia de la energía geotérmica, ya que aprovecha un calor almacenado por 60 mil años en el bosque, y una vez que se utilice, éste empezará a decaer. Por otro lado, aunque la geotermia se clasifica como energía alternativa, no es considerada una energía sustentable o limpia, comparada con otras energías alternativas como la solar

El agua que proviene de fuentes geotérmicas forma parte del ciclo natural hidrológico, pero cuando es aprovechado industrialmente puede causar cambios en las condiciones de equilibrio natural que guardan los sistemas en su profundidad, permitiendo la infiltración de fluidos químicamente agresivos a la superficie. El agua en las fuentes geotérmicas se vuelve tan peligrosa debido a que se encuentra en profundidades de 500 a 3000 m, donde se presentan condiciones extremas de presión (mayores a 50 bar) y temperaturas superiores a 200°C, esto propicia fuertes cambios en la composición química e isotópica de los fluidos, así como grandes interacciones mineralógicas fluido-roca [22].

Por lo mencionado anteriormente, es importante considerar varios aspectos antes de la explotación de las fuentes geotérmicas, tales como restauración de vegetación, conservación de suelos, flora y fauna, así como un programa de análisis químico continuo,

donde se monitoree el aire y agua y se realice un muestreo y caracterización de suelos. Éste último punto, caracterización de suelos, es el tema de interés en el presente proyecto; se determinarán distintos analitos y propiedades físicas y fisicoquímicas de los suelos colindantes a fuentes geotérmicas del Bosque La Primavera, para ello se utilizarán distintos métodos analíticos, buscando que sean sencillos y replicables.

## 2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

Se busca determinar fluoruros, halogenuros totales, cobre, aluminio, así como propiedades físicas y fisicoquímicas como lo son la humedad, cenizas, materia orgánica disponible y la temperatura en los suelos de fuentes geotérmicas. Para llevar a cabo lo anterior se realizará una investigación previa extrayendo los métodos más sencillos, replicables y aquellos que nos permitan emplear materiales y reactivos que se encontraran a nuestra disposición en el laboratorio.

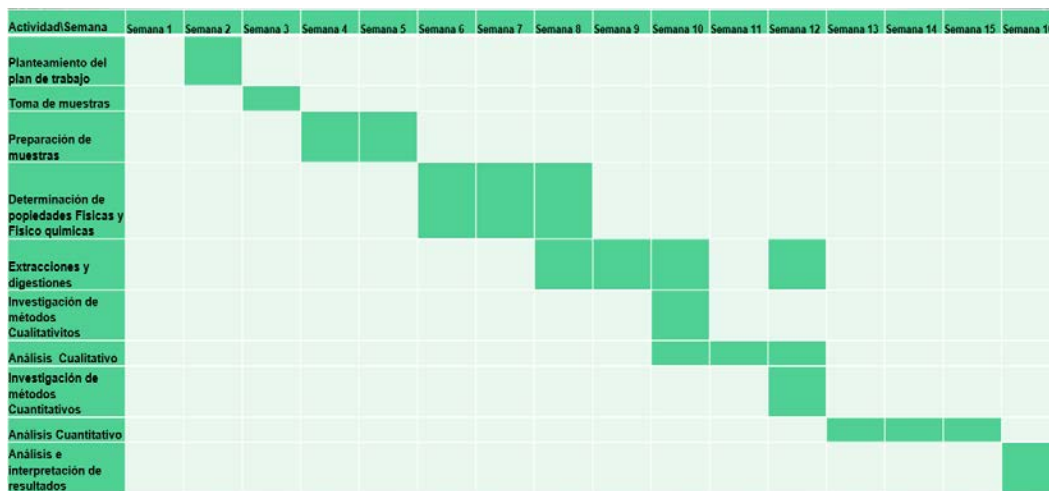
Una vez determinadas las pruebas que se harían, se recolectaron muestras de suelo directamente en el predio de Planillas el cual se encuentra en una de las partes altas del Bosque de la Primavera las cuales se prepararon para sus posteriores pruebas realizándoles un tratamiento físico de molienda, secado y tamizado. Una vez hecha la preparación se tomaron las muestras para consumir tres diferentes tipos de digestiones o extracciones: Extracción con agua destilada, otra con una solución extractora “Carolina del Norte” ( $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HCl}$ ) y digestión ácida total con  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Por su parte, se decidió llevar a cabo una marcha analítica ya que de esta manera se podían identificar iones inorgánicos presentes en la muestra de suelo y así tener una mayor certeza de que los elementos a analizar o de interés se encontraran presentes. Se continuó en paralelo realizando una investigación para la identificación de los o el mejor método para el análisis cuantitativo y/o cualitativo de aniones.

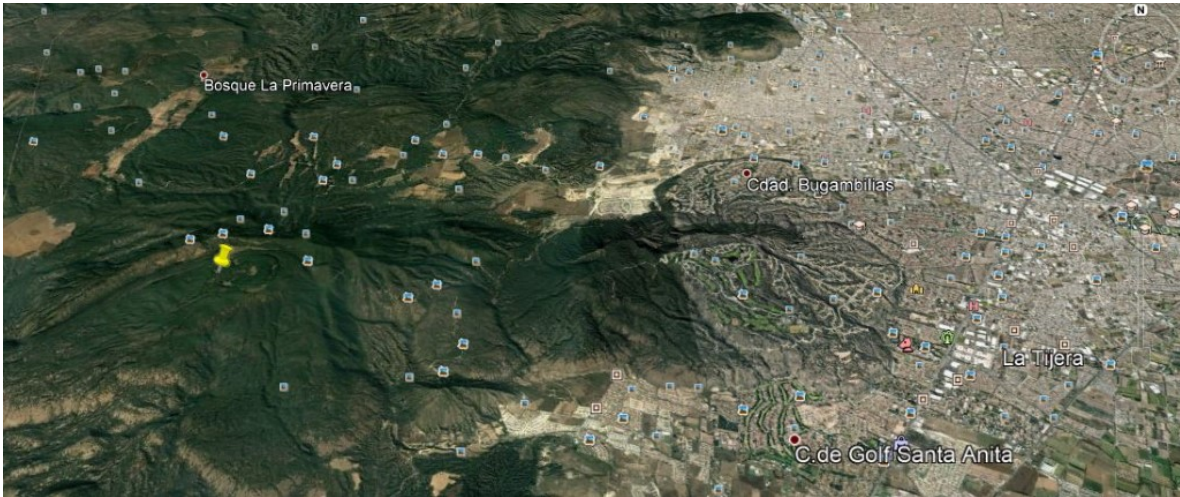
- Plan de trabajo

Dado que el proyecto se llevó a cabo en paralelo con otro, se realizó un cronograma mostrado en la **Tabla 1** el cual mostrará de manera visual el orden en que se llevarían a cabo cada una de las tareas o pruebas propuestas para la duración marcada por el encargado del proyecto.

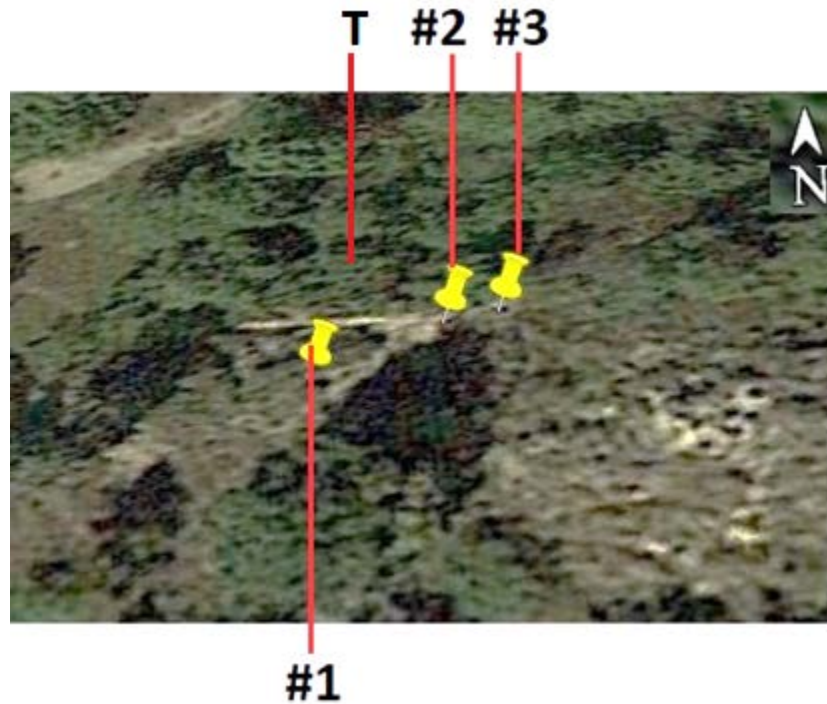
Tabla 1 Plan de trabajo propuesto para el semestre de Otoño 2018



Para comenzar con la experimentación se tomaron muestras de suelo de las tres fuentes geotérmicas, tres muestras de suelo aledaño y de un testigo el cual se encuentra aproximadamente 15 metros aguas abajo del predio de Planillas en el Bosque de la Primavera. La ubicación de estos puntos se muestra en la **Ilustración 1** e **Ilustración 2**.



*Ilustración 2 Perspectiva general de la ubicación de los pozos en la zona metropolitana.*



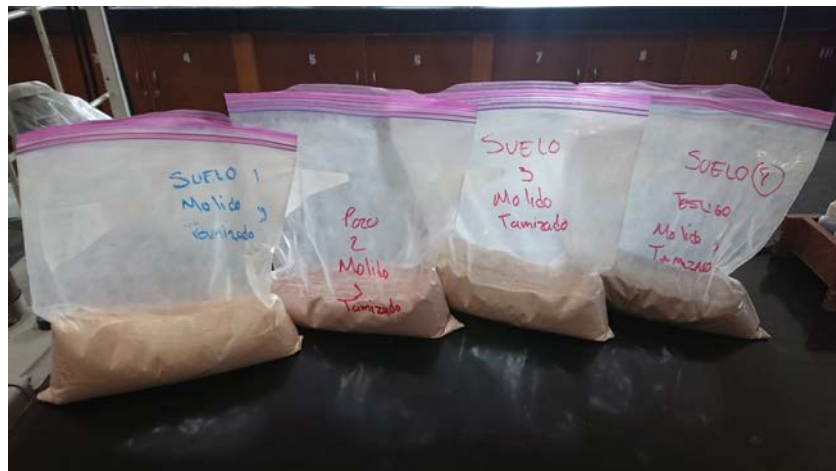
*Ilustración 3 Ubicación particular de los pozos de salida de vapores de fuentes geotérmicas.*

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 del que provenía. Se procuró no tomar en las muestras porciones de ramas, raíces u hojarasca dado que esto podría causar errores en las mediciones, ya que, si bien es materia orgánica, aún no se ha descompuesto. En promedio se recolectaron alrededor de 5kg de suelo por cada fuente (peso húmedo). Asimismo, se midió la

temperatura del vapor emanado de cada una de las fuentes geotérmicas. A continuación, se muestran las imágenes de los suelos aledaños de donde se tomaron las muestras de y las cuatro muestras tratadas físicamente.



*Ilustración 4. Muestra de suelo aledaño al pozo 1*



*Ilustración 5. Muestras de suelo tratados por medios físicos.*

A cada una de las muestras de suelo se les realizó un tratamiento previo a las extracciones y digestiones. Para este tratamiento se siguieron los pasos mostrados a continuación:

1. Secado de las muestras en una estufa a temperaturas entre 80-90 °C durante un tiempo de aproximadamente 5 horas.
2. Molienda.
3. Tamizado empleando tamices del N° 10 y 16.

Una vez preparadas las muestras se realizó una extracción en agua y una digestión ácida total.

#### **Extracción Acuosa:**

Se tomaron 10 gramos de cada suelo y se colocaron en 4 diferentes vasos de precipitado con 100 mL de agua destilada aproximadamente, se calentó hasta punto de ebullición durante 10 minutos y posteriormente se dejaron enfriar.

#### **Digestión ácida total:**

Se colocaron dos gramos de muestra en tubos Kjeldahl y se realizó una digestión ligera para descomponer toda la materia orgánica más simple presente empleando 10 mL de una solución de ácido nítrico 1:1 calentándose en un baño maría hasta 95°C por un total de 15 minutos. Posteriormente se agregaron 5 mL de ácido nítrico QP y se calentó la mezcla buscando evaporar todo el líquido hasta llevarlo a sequedad cuidando que la solución no se proyectara ya que esto implicaría resultados falsos para el caso de los análisis cuantitativos, ésta parte de la digestión concluyó una vez que los vapores nítricos de color rojo dejaron de presentarse entre una adición y otra de ácido. Para el caso de la muestra #1 solo bastaron 5 adiciones mientras que para la muestra #2 y #3 se requirieron un total de 10 adiciones. Cabe mencionar que las adiciones de ácido se realizaban una vez que el matraz se enfriaba. Concluyendo con las adiciones de ácido nítrico QP se continuó adicionando 2mL de agua destilada y 3 mL de peróxido de hidrógeno hasta ya no observar efervescencia.

*Ilustración 5. Vapores nítricos de la digestión de la muestra #3.*



Una vez concluidas las digestiones se lavaron y se filtraron las soluciones obtenidas usando un sistema de filtración (Kitasato, embudo Büchner y filtro Whatman No. 1) por succión aforando a 200mL el filtrado.



*Ilustración 6. Sistema de vacío.*

### 3. Resultados

Una vez obtenidas las soluciones extraídas de las digestiones tanto acuosa como ácida se continuó con una marcha analítica basándonos en el método propuesto por A. Vogel (1969) obteniéndose los siguientes resultados

*Tabla 2. Resultados obtenidos a partir de la marcha analítica.*

<b>Analito</b>	<b>Resultado</b>
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

#### 3.1. Determinación Cualitativa de Boratos

Siguiendo con el análisis cualitativo se buscó determinar la presencia de boratos por lo que se consideró emplear el método de la curcumina. Para llevarlo a cabo se tomaron 100 mL de la muestra problema y se acidificaron todas las muestras con 7 gotas de ácido clorhídrico al 30%. Una vez acidificadas se agitaron para homogenizar la solución y se les sumergió papel de curcumina, en caso de tener presencia de boratos este debía colorarse rojo ladrillo y posteriormente, al exponer el mismo papel a vapores de hidróxido de amonio debía colorarse azul verdoso. Como se puede observar en la Ilustración 7, no presentan ningún tipo de coloración como la mencionada con anterioridad y esto se comprueba o compara con un “control” el cual se sometió a una muestra de borato de sodio.



*Ilustración 7 Prueba cualitativa para detección de boratos.*

### 3.2. Determinación de Halogenuros totales por Titulación Colorimétrica

Para la realización de esta prueba se implementó el método de Mohr por lo que se tomaron 3 mL de cada una de las muestras de la digestión ácida, se agregó a un matraz Erlenmeyer y se llevó el volumen hasta 50 mL. Posteriormente, la muestra fue neutralizada con hidróxido de sodio 0.01 N ya que de otra manera por el pH tan bajo tendríamos el cromato de plata disuelto y, por tanto, no se podría percibir el cambio de color. Una vez neutras las soluciones, se les agregó 1 mL de cromato de potasio 1% en volumen y se titularon con nitrato de plata 0.0094 N; la titulación concluiría una vez que se comenzara a formar cromato de plata que se presenta con un color rojo ladrillo, lo que indicaría la completa reacción con los halogenuros. Esta prueba se realizó por triplicado obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3 Resultados de halógenos totales obtenidos por triplicado, reportados como mg Cl<sup>-</sup>/kg suelo seco (ppm).

Lugar de extracción	N° Suelo	Extracción Acuosa.	Digestión Total
Fuentes Geotérmicas	1		11470 ± 1850
	2		7020 ± 1480
	3		8140 ± 1480
Suelos Aledaños	1	1270 ± 150	36540 ± 2210
	2	1740 ± 60	18490 ± 740
	3	1800	20340 ± 740
	Testigo	2250 ± 220	



Ilustración 1. Titulación de halógenos totales

## Conclusiones

Realizadas las digestiones se pudieron obtener las titulaciones colorimétricas de halógenos de las cuales se pudo determinar que, en fuentes geotérmicas, se tiene una concentración más alta en el suelo #1, seguido del suelo #3 y finalizando con el #2 siguiendo el mismo orden para suelos aledaños. La razón por la que contamos con mayor concentración de halogenuros en digestión ácida se debe a que muy probablemente estos sean solubles en el medio mencionado y no precisamente en agua por lo que el arrastre de los mismos de esta manera no sería la mejor manera para cuantificarlos. A su vez, se puede agregar que a pesar de tener concentraciones significativas de hasta 36500 ppm de halógenos totales por kilogramo de muestra (Base seca) quizá no resulte en un daño crítico para la fauna o flora dado que la concentración que se puede tener disuelta en agua no resulte dañina. Es preciso recalcar que la concentración obtenida en la prueba colorimétrica propuesta por Mohr no precisamente tendrá que ser de cloruros ya que, a pesar de que visualmente no se detectaron bromuros en ninguna de nuestras muestras, quizá lo tengamos presente en muy bajas concentraciones. Finalmente, para completar la sección de halogenuros totales habría que implementar una prueba para detección de yoduros.

## Referencias

1. Del Blanco, A. (2018). 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. En Programa de apoyo al desarrollo tecnológico de la industria (42). México: ITESO.
2. Hernández, F., Hernández Rivera, L., De Alba Martínez, H., Pardiñas Mir, J. A., Pérez Bernal, L. E., Valdés Valdés, S., ... Tessier-Newton, D. (2017). *Evaluación de variables ambientales en los polígonos del ITESO en el Bosque la Primavera* (Proyecto No. 1) (p. 61). ITESO.
3. Sandoval-Moreno, A. & Ochoa-Ocaña, M. A. *Grupos locales, acceso al agua y su problemática de contaminación en la ciénega de Chapala, Michoacán*. Econ. Soc. Territ. 10, 683–719 (2010).
4. ¿Qué significa que el bosque de la Primavera sea Reserva de Biosfera? Red Arquitectura (2012).
5. EPA. (1996). ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS. EPA.
6. Harris, D. C. (2010). Quantitative Chemical Analysis. New York: W. H. Freeman and Company.
7. Jackson, M. L. (1970). Análisis Químico de Suelos. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.
8. Vogel, A. I. (1969). Química Analítica Cualitativa. Buenos Aires, Argentina: Kapelusz.

9. Walton, H. F., & Domínguez, X. A. (1970). Principios y métodos de análisis químico. México: Reverté.
10. Pavia, D., Engel, R., Lampman, G. & Kriz, G. (1976). Introduction to Organic Laboratory Techniques. USA: W. B. Saunders.
11. Hodder, A. P. W. *GEOTHERMAL WATERS: A SOURCE OF ENERGY AND METALS*. (Department of Earth Sciences, University of Waikato).