

Evaluación de la calidad del suelo en la comunidad de Palo Corado en San Felipe, Guanajuato

Evaluation of soil quality in the community of Palo Corado in San Felipe, Guanajuato

Armenta Conejo Fátima¹, Basurto López Mildred Andrea¹, Briones Girón Yareli Anilú¹, Piñón Sánchez Karla Guadalupe¹, Medina Mejía Ma. Guadalupe¹

¹División de Ingenierías Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
Mg.medina@correo.mx¹

Resumen

El objetivo de este estudio se enfocó en la obtención de datos que permitieron caracterizar y confirmar si existen indicios de contaminación en el recurso suelo por actividades antropogénicas como minería y agricultura, para lo cual se evaluaron 11 muestras, la toma de éstas se realizaron los días 3 y el 28 de junio en época de sequía y de lluvia respectivamente en la zona de los bordos que la población utiliza para riego agrícola, ganadería y algunas actividades del hogar de la comunidad de Palo Colorado, en el municipio de San Felipe Guanajuato. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, textura, volumen de aire, capacidad de infiltración del agua en el suelo, prueba de actividad microbiana, capacidad de intercambio catiónico (CIC cualitativo) %humedad, %materia orgánica, aniones como carbonatos, sulfatos, cloruros, sulfuros, carbonatos y nitratos además de metales como Fe, Zn, Cu y Pb posiblemente presentes de acuerdo con la geología de la zona están y a la actividad minera. El análisis fisicoquímico se realizó de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000. Con respecto a los resultados de los parámetros fisicoquímicos se encontraron en general valores bajos pues el suelo tiene es poco profundo, y muy impactado por las actividades antropogénicas, en cuanto a los metales Fe, Zn, Cu y Pb se encontraron presentes en todas las muestras en valores que no sobrepasan la concentración de referencia total de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Los resultados permitieron de una forma preliminar la comprensión del comportamiento de los metales en el suelo además de entender la extensión del daño.

Palabras clave: Palo Colorado; Infiltración; CIC.

Guanajuato como en el mundo entero se han suscitado cambios económicos y sociales lo que ha causado el deterioro del medio ambiente, al depender de los recursos naturales que posee, ya que en el proceso de lograr una mejor calidad de vida impactan a los recursos naturales y degradan el ambiente. El estado presenta graves problemas de abastecimiento de agua, la creciente pérdida de la cubierta vegetal y la erosión del suelo tienen un impacto negativo directo, muy significativo sobre la capacidad de recarga de los acuíferos. Durante los períodos de alta precipitación, la cantidad de agua que se evapora es mayor y, por lo tanto, ésta no alcanza a infiltrarse y recargar los mantos freáticos, [Plan estatal de desarrollo 2030 ambiente](#). El agua es un recurso indispensable, por lo que asegurar su disponibilidad se creó el programa de construcción de bordos para proveer agua a las comunidades rurales que no cuentan con un pozo. Por otra parte, el Estado de Guanajuato es potencialmente rico en recursos minerales, tanto metálicos como no metálicos dentro de la comunidad que nos ocupa, se tienen antecedentes de minerales metálicos en obras mineras abandonadas, que se trabajaron, pequeños yacimientos de estaño y minerales no metálicos como caolín y agregados pétreos. ([Consejo de recursos minerales dirección de minas 2002](#))

Se conoce a lo largo de la historia que la contaminación de un suelo trae problemas en la seguridad alimenticia, salud humana, economía, pérdida de biodiversidad, cambio climático, migraciones, conflictos sociales y el no cumplimiento de los ODM. ([Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura \[FAO, por sus siglas en inglés\], 2015](#)).

En el estado de Guanajuato como en todo el país enterados esta situación se hace necesaria la caracterización detallada del suelo que proporcione, datos acerca de la extensión del posible daño y se puedan tomar acciones preventivas y correctivas, que lleven a una gestión ambiental sustentable, en atención a la incertidumbre de la comunidad de Palo Colorado de conocer la calidad del suelo y de cómo repercute en el agua de abastecimiento que es por sistema de bordos, y en función de que la base económica es la agricultura y ganadería, fue propuesto este estudio.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La localidad de Palo Colorado pertenece al Municipio de San Felipe. Hay 465 habitantes y está a 2,440 metros de altura. se encuentra a 26.3 kilómetros en dirección Noroeste de la localidad de San Felipe, que es la que más habitantes tiene dentro del municipio, rodeado de campos de cultivo, entre llanos y cerros áridos y localizado en la provincia fisiográfica del Eje Volcánico, en su límite con la provincia de la Mesa Central. Respecto a la ubicación del municipio en el marco hidrológico, se ubica en la cuenca Lerma-Santiago-Chapala. Con respecto a la minería, se tienen antecedentes de minerales metálicos en obras mineras abandonadas, que se trabajaron por oro y plata, además de pequeños yacimientos de estaño y minerales no metálicos como caolín, rocas dimensionables como toba, riolita y agregados pétreos. ([Consejo de recursos minerales dirección de minas 2002](#) Consejo de recursos minerales dirección de minas 2002).

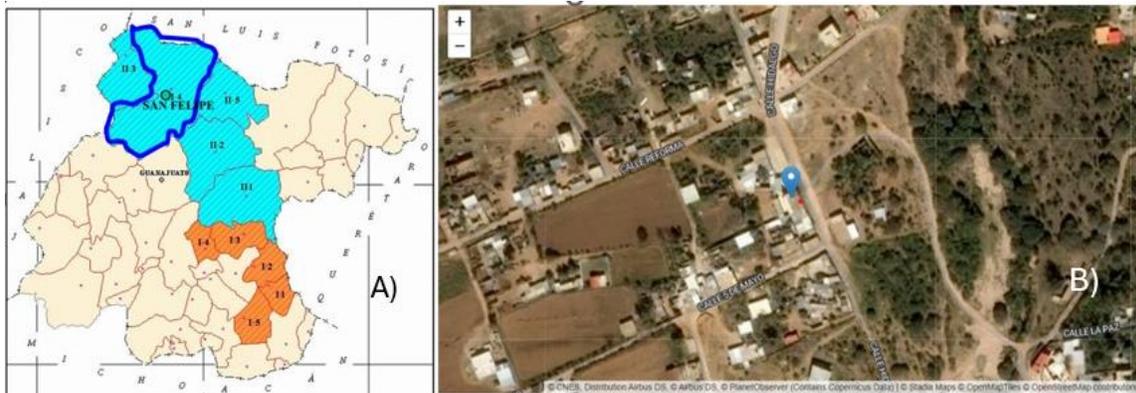


Figura 1. A) Mapa de la localización del municipio de San Felipe Inventario físico de los recursos minerales del municipio de San Felipe, Gto. 2002. B) foto satelital Palo Colorado

Toma de muestra

Se realizaron dos muestreos basándonos en la NOM-021-RECNAT-2000, el primero fue llevado a cabo el día 03 de junio del 2024 en donde se recolectaron 7 muestras en los dos bordos de agua, por otro lado, el segundo muestreo se llevó a cabo el 28 de junio del 2024 en donde se recolectaron 4 muestras, estos en época de estiaje y de lluvias respectivamente (fig. 2 y 3), después de la toma, se tamizaron y se almacenaron en posición vertical, dentro de bolsas de polietileno de cierre hermético, en una hielera a una temperatura de 4°C, para su traslado. Una vez en el laboratorio las muestras se secaron a temperatura ambiente se tritularon en un mortero y homogenizaron, almacenándose en bolsas con cierre hermético



Figura 2. Puntos de muestreo bordo no. 1 comunidad Palo Colorado del municipio de San Felipe, Gto.



Figura3. Puntos de muestreo bordo no. 2 comunidad Palo Colorado del municipio de San Felipe, Gto.

Caracterización de suelos.

Parámetros Físicos:

- Textura del suelo: se introducir una cantidad de muestra tamizada a 2 mm en una botella y añadir agua destilada o desmineralizada, y dejar que sedimenten las partículas durante 24 horas. Se puede valorar el % en volumen que ocupan las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla) y tomar estos valores como estimaciones de la abundancia relativa de estas fracciones. (Badía 2016)
- Nivel Infiltración: Una vez montada la columna de percolación (botella de plástico colocada al revés como embudo y tapa perforada, solamente es necesario verter el agua por arriba y esperar el tiempo necesario para recoger, por la parte de abajo, la infiltración. Durante el proceso, será necesario cronometrar el tiempo necesario para que se produzca un determinado volumen de infiltración. (Badía 2016)
- Volumen de aire: Se vacía el contenido de tierra (V_t) del cilindro en la probeta y un volumen de agua aproximadamente igual (V_{H_2O}), lo que da un volumen final (V_f) que debería ser la suma de los dos volúmenes iniciales ($V_t + V_{H_2O}$) si el suelo fuera macizo. La diferencia entre el volumen final y el esperado ($V_f - (V_t + V_{H_2O})$) se debe a la presencia de aire en el suelo (obviando los procesos de disolución). (Badía 2016)

Parámetros Químicos:

- pH y conductividad. Se pesan 10 gramos de suelo, adicionar 50 ml de agua desionizada agitar por 30 minutos dejar reposar 15 minutos y medir el pH y la conductividad. Empleando el potenciómetro Ohaus modelo Srtarder 3100 y el conductímetro YSI modelo 35. (NOM-021-RECNAT-2000).
- Respiración microbiana: Se pesan 200 gramos de muestra se adiciona agua hasta alcanzar el 60% de su capacidad de retención hídrica en una bolsa de plástico, incubar por 3 días a temperatura ambiente, pesar 65g colocar en un tubo y guardar con otro frasco de vidrio hermético que contenga 10 ml de NaOH 0.5M y se incuba por 24 horas en la oscuridad, para después adicionar 5 ml de BaCl₂ 0.5M y titular con HCl 0.5M hasta el viraje de rosa a incoloro. (Badía 2016)
- % de humedad y % materia orgánica: Pesar 10 g de suelo, en un crisol de porcelana de peso conocido llevar a la estufa a 105°C por 24 horas, enfriar en desecador y pesar el crisol así se obtiene el % de humedad, para la materia orgánica este mismo este mismo crisol se lleva a la mufla por 2 hr a 350°C, dejar enfriar y seca. (Revista Ingeniería y Región 2021)
- C.I.C: Una vez montada la columna de percolación (botella de plástico colocada al revés como embudo y tapa perforada, solamente es necesario verter una solución de sulfato de cobre por arriba y esperar el tiempo necesario para recoger, por la parte de abajo, si el suelo elimina el color del azul de la solución de sulfato de cobre entonces presenta CIC en caso contrario no tiene CIC. (Badía 2016)

- Identificación de Aniones Prueba cualitativa: Preparación de un extracto 1:5 suelo agua Pesa 10 g de suelo, se Introduce la muestra en un matraz y agrega 50 ml de agua destilada. Tapa el tubo y agita mecánicamente el contenido por una hora. Filtra el extracto, y centrifugar por 10 min a 1500 rpm. Se determinan. Badía 2016 (Badía 2016)
- Sulfatos, se determina por precipitación al adicionar unas gotas de BaCl₂ 10% con el sobrenadante.
- Sulfuro, se determina por precipitación al adicionar unas gotas de BaCl₂ con el sobrenadante acidificado con HCl 0.5 M.
- Nitratos, se hace reaccionar el sobrenadante con H₂SO₄ y FeSO₄ formando un anillo de color café correspondiente a la formación de NO.
- Cloruros, se adicionan AgNO₃ al sobrenadante para formar un precipitado blanco
- Carbonatos: Pesar 2 gr de suelo y depositarlo en botella de plástico de 250 ml con tapón hermético, adicionar 50 ml de HCl 0.1 M, agitar suavemente eventualmente y dejar en reposo durante toda la noche, al día siguiente agite por dos horas en un agitador por vaivén y filtre después, titular con NaOH 0.1M. (Ahumada, Cardozo, Sanjinez)
- Sulfatos método cuantitativo start 680, se determinó en espectrofotómetro uv-vis Hach.
- Cloruros cuantitativo: El análisis se realiza a partir del extracto acuoso del suelo se adiciona K₂CrO₄ como indicador y se titula con AgNO₃ hasta la formación de un precipitado color ladrillo. (Ahumada, Cardozo, Sanjinez)
- Determinación de metales: Pesar 4 gr de muestra de suelo adicionar 10 ml de HNO₃ más 2 ml de H₂O₂ mezclar por 10 min, Digerir la solución, enfriar y aforar 25ml con agua desionizada preparar las soluciones patrón para cada metal y obtener la concentración en un equipo de adsorción atómica Perkin Elmer Analyst 400.

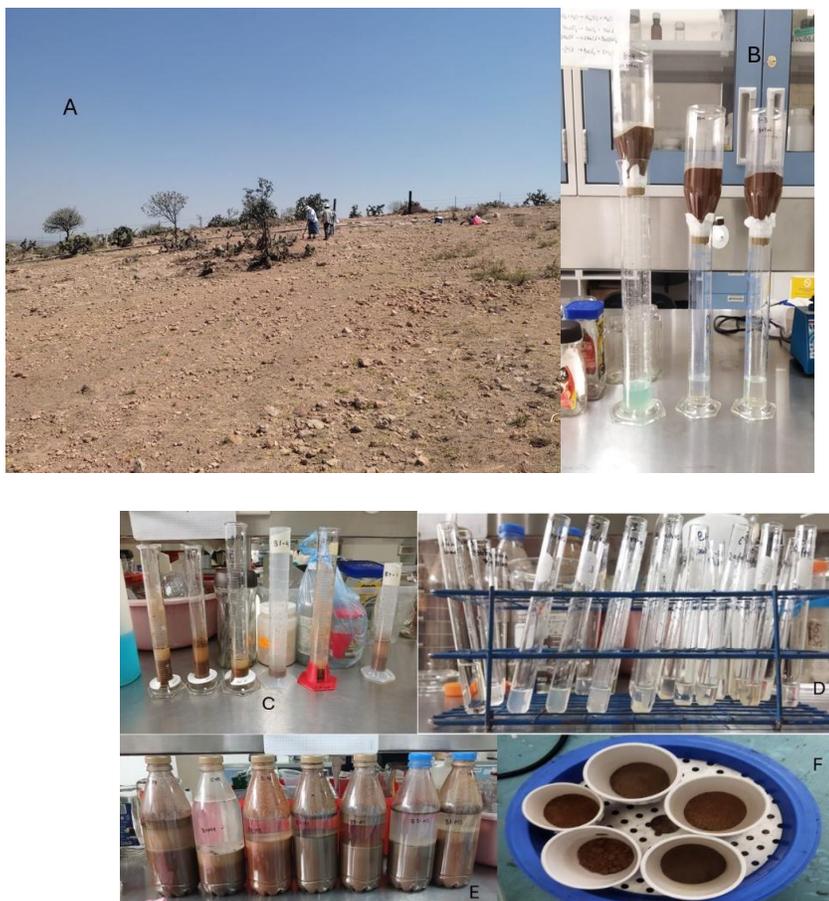


Figura 4. A Muestreo, B CIC e Infiltración C volumen de aire en agua, D aniones, E Textura y F %MO y %h

Resultados y Discusión

Los suelos analizados presentan mayormente un pH moderadamente ácido, lo que indica que existe la posibilidad de que los contaminantes como los metales del Plomo, Zinc, y Hierro que estuvieron presentes en todas las muestras presenten una mayor solubilidad y biodisponibilidad.

Con respecto a la media de 6,26, todas las muestras se encuentran muy cerca de este valor, excepto la muestra B2-2 que se encuentra por debajo del promedio es con un valor de 5.96 esta muestra fue tomada en el primer muestreo del día 3 de junio en época de sequía, el suelo en general se encuentra impactado y posee un solo perfil de una profundidad pequeña, este pH se relaciona con la conductividad que fue baja no tiene un alto contenido de sales.

Por otra parte, la muestra B1-11 posee un valor mayor y neutral con 6,72, la razón del aumento del pH en esta muestra se debe a que hay mayor contenido de sulfatos y cloruros, esto es causado principalmente por la mezcla de suelos que hubo debido a las lluvias, estos sulfatos pudieron escurrir de otro sitio, cabe mencionar que esta muestra corresponde al segundo día de muestreo realizado y se tomó después de un fin de semana. La materia orgánica es una fuente de alimento y energía para los microorganismos del suelo. Los resultados del análisis de Materia Orgánica (MO) en general los porcentajes son bajos, sin embargo, la muestra B1-M5 presentó un porcentaje medio de MO basándose en los resultados de la NOM-021-ecnat-2000, el punto donde se tomó esta muestra hubo presencia de plantas, lo que nos indica una mayor cantidad de materia orgánica, las raíces de las plantas penetran en el suelo, descomponiéndose con el tiempo y agregando materia orgánica.

La muestra B1-M3 presenta muy bajo porcentaje en materia orgánica, esto se debe principalmente a la estructura del suelo, se encontró un solo perfil con poca profundidad, Un perfil poco profundo limita la cantidad de material parental disponible para la formación de suelo y, por ende, la acumulación de materia orgánica. Un alto contenido de MO implica una mayor CIC, lo que se traduce en una mejor retención y biodisponibilidad de nutrientes y contaminantes.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas encontramos bajos porcentajes de humedad, a excepción de la muestra B1-M9 y B1-M10 en las que son más altos los valores que en el resto de las muestras. Al tener bajos porcentajes de humedad nos indica que es un suelo que no tiene la capacidad de retener agua, compactándose más fácilmente y por lo tanto los contaminantes tienden a acumularse en las partículas del suelo, limitando la actividad microbiana.

El volumen de aire es el espacio entre partículas ocupado por aire, pero en cuanto a cómo se relaciona a los otros parámetros. Al tratar con un suelo cuya materia orgánica es significativa, su capacidad de infiltración será menor, esto debido a que la materia orgánica actúa como una esponja “hinchando” el suelo evitando su compactación y reteniendo la misma agua, precisamente de ahí que las arcillas tiendan a compactarse en ausencia de humedad, a pesar de su gran volumen de aire, ya que carece de materia orgánica.

Esta relación se puede apreciar de mejor manera con las muestras “B1-M1” y “B1-M3” en donde a pesar de poseer el mismo volumen de aire, su capacidad de infiltración se ve afectada por el porcentaje de humedad y la cantidad de materia orgánica, donde si bien este volumen de aire será ocupado por agua, la saturación por humedad y la retención por la materia orgánica presente afecta su capacidad de infiltración mencionada.

Hay parámetros que se analizaron a pesar de no encontrarlos en la Normatividad, sin embargo, se determinaron para analizar el comportamiento de los contaminantes presentes en el suelo, dentro de estos parámetros se tiene a la evaluación de parámetros como cloruros, carbonatos, sulfuros, y sulfatos, es necesario conocerlos a fin de conocer que tipos de sales existen en ese suelo debido a que estas tienden a reaccionar con otros metales presentes en el suelo influyendo en su movilidad y biodisponibilidad, además de influir en el valor del pH y la conductividad eléctrica. También el parámetro de infiltración entra dentro de esto, pero nos da información clara para conocer la movilidad de los contaminantes presentes.

La ausencia de carbonatos en un suelo puede deberse a una combinación de factores naturales y procesos geológicos que han actuado a lo largo del tiempo, puede ser que el suelo de origen era pobre en carbonatos, sin embargo, también puede ser debido al impacto existente en el suelo y su poca profundidad que el suelo se encuentre erosionado ya que por esta razón se pudieron ir eliminando las capas más superficiales y con ellas los carbonatos.

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la cantidad de agua que se puede infiltrar y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

La mayoría de las muestras son de textura arena-arcillosa por lo que la alta proporción de arena en estas muestras sugiere una buena permeabilidad, es decir, el agua y el aire pueden moverse fácilmente a través del suelo. Sin embargo, también implica una menor capacidad de retención de agua y nutrientes, ya que las partículas de arena tienen menor superficie específica para adsorber agua y cationes, lo que indica que pueden almacenar cationes intercambiables. Las partículas de arena, al ser más grandes y tener menor superficie, retienen menor cantidad de materia orgánica.

Sin embargo, la muestra B1-M10 presenta mayor contenido de arcilla a comparación de las demás muestras esto nos indica que puede retener más humedad por lo cual también es una de las muestras con el mayor porcentaje de contenido de humedad.

La conductividad en las muestras en baja debido a que es un suelo poco profundo y muy impactado por la actividad minera, los valores de conductividad dependen de la cantidad de aniones presente entonces con base en esto tenemos que la muestra B2-M1 presenta el valor más alto porque tiene concentraciones de sulfatos y cloruros altas, mientras que la muestra B1-M3 tes la presenta menor conductividad como resultado de no tener concentraciones altas de aniones y porque en este punto no había mucho suelo la mayoría era roca. En las muestras correspondientes al segundo muestreo a pesar de tener valores altos de aniones presentan una conductividad baja debido a que hay una mezcla de suelos pero no están en la parte más profunda de estos suelos.

Con respecto a la C.I.C esta depende de la cantidad de materia orgánica y de arcillas, solo el filtrado de las muestras presenta el color azul de la solución del sulfato de cobre pues, en la muestra B1-M2 presenta un contenido de arcilla bajo, la B1-M4 presenta bajo contenido de materia orgánica y arcilla y la B2-M2 también presenta bajo contenido de arcilla.

Tabla 1. Análisis de fisicoquímico de suelos, muestreo 3 de junio.

PRIMERA TOMA													
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS													
	INFILTRACIÓN (m ²)	pH	%M.O	%H	Vol. Aire (mL)	Sulfatos (ppm)	%Carbonatos	Cloruros (ppm)	CE 25° (dSm-1)	CO2 (g-1 suelo seco día -1)	Arena (cm)	Acilla (cm)	Limo (cm)
B1-M1	1.14	6.02	0.60	0.26	4.00	23.00	No detectado	2.84	121.20	70.30	7.50	3.00	0.00
B1-M2	2.78	6.62	0.59	1.83	3.00	0.00	No detectado	2.70	283.91	28.53	7.50	1.50	0.00
B1-M3	7.76	6.60	0.24	0.12	4.00	5.00	No detectado	2.70	40.33	200.82	9.00	2.00	0.00
B1-M4	54.56	6.05	0.25	1.89	5.00	8.00	No detectado	3.19	21.34	448.41	5.50	1.00	2.00
B1-M5	8.85	6.00	9.36	0.53	5.00	10.00	No detectado	3.01	64.2	140.65	3.50	6.00	2.00
B2-M1	0.06	6.15	0.82	0.27	4.00	18.00	No detectado	2.84	424.89	20.05	7.00	2.00	0.00
B2-M2	2.67	5.96	0.52	0.84	3.50	9.00	No detectado	3.01	89.90	100.44	7	2	0
Media	12.52	6.24	1.98	0.82	4.17	10.67		2.88	159.31	151.46	6.67	2.58	0.67
σ	20.90	0.29	3.62	0.82	0.75	8.48		0.19	161.09	161.06	1.91	1.80	1.03

Tabla 2. Análisis de fisicoquímico de suelos, muestreo 28 de junio.

SEGUNDA TOMA

	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS												
	INFILTRACIÓN (l·m ⁻²)	pH	%M.O	%H	Vol. Aire(ml)	Sulfatos (ppm)	%Carbonatos	Cloruros (ppm)	CE 25° (dSm-1)	CO2 (g-1 suelo seco día ⁻¹)	Arena (cm)	Acilla (cm)	Limo (cm)
B1-M8	4.42	6.25	0.85	1.46	11.00	28.00	No detectado	29.82	47.52	1882.58	4.8	1.2	0.5
B1-M9	10.63	6.06	0.36	2.35	No detectado	0.00	No detectado	28.75	152.53	565.47	5	2.7	0.01
B1-M10	5.97	6.44	1.29	4.56	12.00	56.00	No detectado	28.93	134.11	647.15	4.5	1.5	0.01
B1-M11	4.60	6.72	0.34	1.49	10.00	45.00	No detectado	28.40	147.55	577.42	4	0.5	0.01
Media	7.01	6.25	0.83	2.79	11.50	28.00		29.17	111.39	1031.73	4.77	1.80	0.17
σ	3.23	0.19	0.47	1.59	0.71	28.00		0.57	56.07	737.98	0.25	0.79	0.28

En cuestión de los metales, el plomo, hierro, zinc y cobre se determinaron porque algunos están presentes de manera natural o por los métodos de extracción que usan la minería, aunque no existen límites máximos permisibles para todos las concentraciones determinada no están fuera de norma sin embargo, estos provocan afectaciones para el ser humano y dañan el medio ambiente. Un ejemplo es el caso plomo que que no importa si la concentración es mínima.

Tabla 3. Análisis de metales de suelos, muestreo 3 de junio

	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
B1-M1	21.69	1.22	5.94	0.82
B1-M2	21.80	1.63	3.56	0.61
B1-M3	20.73	0.93	2.34	0.38
B1-M4	22.67	1.48	6.43	0.89
B1-M5	24.17	1.59	3.52	0.64
B2-M1	21.42	1.26	0.42	0.33
B2-M2	22.67	1.425	4.376	0.53
Media	22.08	1.35	3.70	0.61
σ	1.20	0.27	2.24	0.23

Tabla 4. Análisis de metales de suelos, muestreo 28 de junio

	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
B1-M8	0.74	0.41	39.92	0.21
B1-M9	5.66	0.50	40.12	0.23
B1-M10	4.81	0.46	42.15	0.36
B1-M11	4.67	0.28	45.21	0.34
Media	3.74	0.46	40.73	0.26
σ	2.63	0.04	1.23	0.08

Conclusiones

La contaminación del suelo en la comunidad de Palo Colorado, San Felipe, es un problema que requiere atención urgente. La presencia de metales representa un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente local y de acuerdo con los resultados obtenidos se sabe que el Plomo, Hierro, y Zinc están presentes en todas las muestras y además se conoce su posible comportamiento de acuerdo con los resultados de los otros parámetros analíticos realizados como es el caso del pH que es moderadamente ácido, el bajo porcentaje de humedad, una capacidad de infiltración media, un bajo nivel de Materia Orgánica y la textura arenosa arcillosa que presentan estos suelos, los cuales en su mayoría favorecen la biodisponibilidad y movilidad de estos contaminantes en el suelo.

Igualmente cabe mencionar que, aunque se sabe de la existencia de las vetas de Estaño, no se pudo realizar la prueba pues no se contaba con la lámpara correspondiente, sin embargo, es necesario realizarla debido a que este metal pesado tiene afectaciones neurológicas para el ser humano.

También, es importante completar este estudio analizando agua, sedimentos, aire y plantas, para conocer la concentración de estos metales y así lograr tener un panorama más completo de la situación y así se puedan tomar decisiones acertadas en la posteridad.

Finalmente se considera imperativa la cooperación de las autoridades para dar a conocer a la comunidad la información y el uso adecuado de los bordos para que no se utilice el agua de estos para consumo humano y que en trabajos futuros se lleve a cabo el estudio de factibilidad y no permitir que se construyan estos bordos que tienen una función tan importante como la de proveer de agua a las comunidades, que en lugar de beneficiar la salud de los habitantes y al medio ambiente los perjudiquen.

Bibliografía/Referencias

[Mapa de PALO COLORADO \(San Felipe, Guanajuato\) \(pueblosamerica.com\)](http://pueblosamerica.com)

Plan de Estatal de Desarrollo 2030, Diagnóstico, Medio Ambiente.

Pérez-Vargas MA, Inventario Físico de los Recursos Minerales del Municipio de San Felipe, Gto. Pachuca Hidalgo 2010.

Revista Ingeniería y Región Vol. 26 julio-diciembre 2021/ Universidad Surcolombiana

Ahumada-Zurita C.J., Cardoza-Yamunaque, J., Sanjinez-Ayala, B., Siancas-Ipanaque, J., Silva-Aquino, D, Determinación de Cloruros en Suelos y Agregados. Método volumétrico, Universidad Nacional Piura.

Bibliografía correspondiente a la parte de interpretación.

López-Aguilar R., Murillo-Amador B., Benson-Rosas M., López-Arce E., Valle-Meza G. (2002). Manual de Análisis Químicos de Suelos. Editorial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México.

Villas-Badía D., Oriol-Ortiz P., Dalmau-Martí C., (2016). El suelo en la educación pre-universitaria. Escuela Politécnica Superior-Huesca.

Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Diario Oficial de la Federación. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM -021 -RECNAT -2000. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

Diario Oficial de la Federación (2004). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Sparks, D. L. (2006). Soil chemistry (3rd ed.). New York: Oxford University Press. ISBN: 978-0-19-517096-5

Barajas-Heredia, B., Mora-González, T., & Flores-Valdez, H. (2016). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(4), 475-484. <https://www.redalyc.org/journal/573/57364776004/>

AIRE EN EL SUELO - Contenidos de edafología, Génesis, evolución y propiedades fisicoquímicas. (s. f.). <https://1library.co/article/suelo-contenidos-edafolog%C3%ADa-g%C3%A9nesis-evoluci%C3%B3n-propiedades-f%C3%ADsico-qu%C3%ADmicas.1y9n9nwz>

<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La-Respiracion-como-Indicador.pdf>

¿Cuáles son las Relaciones Volumétricas y Gravimétricas en Suelos? | GIG. (s. f.). GIG. <https://ingeotecnica.com/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas>

Gruposacsa. (2016, 30 marzo). *La relación de vacío del suelo* - Grupo SACSA. Grupo SACSA. <https://www.gruposacsa.com.mx/la-relacion-de-vacio-del-suelo/>

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad de Guanajuato, a la Dirección de Apoyo a la Investigación y Posgrado y División de Ingenierías, a la Dra. Alma Serafín, Dra. Norma Leticia Gutiérrez, Dr. Saúl Villalobos Pérez, M.C José Ignacio Ceseña Quiñones, y al QFB Luis Alonso Orozco Castilla, por su apoyo, a la División de Ciencias Naturales y Exactas y al Dr. Gustavo Cruz por el uso de sus equipos para la investigación.