

# EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS AGRÍCOLAS DE MUNICIPIO DE IRAPUATO (GUANAJUATO)

Medina Guerrero, María de Lourdes (1), Zanor, Gabriela A. (2)

<sup>1</sup> [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [marilu.medina@outlook.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [gzanor@ugto.mx]

## Resumen

La agricultura intensiva y el exceso en el uso de agroquímicos han ocasionado la degradación química y la acumulación de elementos traza en el suelo a nivel mundial y estatal. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la concentración total del arsénico en diferentes suelos del noreste del municipio de Irapuato (Guanajuato) y evaluar su distribución con relación a sus propiedades físicas y químicas. Cuatro perfiles de suelo agrícola se muestrearon, dos vertisoles (ARC1 y ARC2) y dos entisoles (ARE 1 y ARE 2), a 1.20 m de profundidad y efectuaron determinaciones físicas y químicas. La concentración total del As se realizó por ICP-OES y se calculó el Índice de acumulación (Igeo) para conocer las fuentes (naturales o antrópicas). Todos los suelos presentaron pH alcalinos y conductividad eléctrica desde no salinos a muy ligeramente salino (ARC1). ARC1 y ARC2 presentaron un mayor porcentaje de humedad (5.82 a 11.60 %), la clase textural fue predominantemente arcillosa (59.96-73.6% arcilla), la materia orgánica varió de 8.13 a 8.87%. En los arenosos, la humedad resultó menor (1.25-3.62%), la materia orgánica fue baja (1.45-4.94%) y la textura arenosa (51.04-93.04 % arena). El arsénico se encontró principalmente en ARE1 Y ARE2 (2.5-12.1 mg/kg) aunque no rebasó los límites permisibles según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. El Igeo osciló desde no contaminado (ARC1 y ARC2) a extremadamente contaminado (ARE1 y ARE2), indicando una fuente antrópica de contaminación

## Abstrac

Intensive agriculture and excessive use of agrochemicals have caused chemical degradation and accumulation of trace elements in the soil at the global and national level. The aim of this study was to quantify the total concentration of arsenic in different soils northeastern city of Irapuato (Guanajuato) and assess their distribution in relation to their physical and chemical properties. Four agricultural soil profiles were sampled two vertisoles (ARC1 and ARC2) and two entisols (ARE ARE 1 and 2), 1.20 m deep and made physical and chemical determinations. The total concentration of As was performed by ICP-OES and accumulation index (Igeo) was calculated to meet the (natural or anthropogenic) sources. All soils showed alkaline pH and electrical conductivity from non-saline to very slightly saline (ARC1). ARC1 and ARC2 had a higher moisture content (5.82 to 11.60%), the textural class was predominantly clay (59.96-73.6% clay), organic matter ranged from 8.13 to 8.87%. In sandy soils, moisture was lower (1.25-3.62%), organic matter was low (1.45-4.94%) and sand (sand 51.04-93.04%) texture. Arsenic was found mainly in ARE1 And ARE2 (2.5-12.1 mg / kg) although it did not exceed the permissible limits according to NOM-147-SEMARNAT / SSA1-2004. The Igeo ranged from uncontaminated (ARC1 and ARC2) to extremely contaminated (ARE1 and ARE2), indicating a source of contamination anthropogenic.

## Palabras Clave

Suelo agrícola; metales; degradación

## INTRODUCCIÓN

El suelo puede definirse como el material mineral no consolidado en la superficie de la Tierra, que se encuentra sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales actuando en su desarrollo durante un periodo de tiempo [1]. El suelo constituye la interfase, entre la atmósfera, hidrosfera y biosfera, siendo la parte más dinámica de la superficie de la Tierra [2]. Dentro de las funciones del suelo, la producción de alimentos es de las más importantes como beneficio a la población humana [3].

Sin embargo, en las últimas décadas los suelos de México han sufrido problemas de degradación debido a las actividades agrícolas y pecuarias. La agricultura intensiva, el exceso de agroquímicos y el agua de riego contaminada ocasionan la degradación química y la acumulación de elementos traza en el suelo. El estado de Guanajuato actualmente presenta una degradación química, ocupando el 28.9% de su territorio [4].

La degradación química es fundamentalmente originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica, además de las altas concentraciones de elementos traza. El contenido de los elementos traza debería ser de origen geogénico, pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos elementos en el suelo en cantidades considerables, hasta alcanzar concentraciones tóxicas en los suelos [3]. Los parámetros físicos y químicos dictaminan la disponibilidad de un elemento traza en el suelo, como pH, textura, capacidad de cambio, condiciones redox, materia orgánica, carbonatos, minerales de arcillas, salinidad, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, etc. [5].

La investigación registrada en contaminación de suelos por elementos traza en Guanajuato es aún limitada y enfocada principalmente a suelos contaminados por actividades mineras [6;7;8].

En el municipio de Irapuato y alrededores, existen sólo análisis de concentraciones de arsénico (As) y flúor (F) en aguas superficiales y subterráneas y en cultivos [9;10]. Es por ello que el objetivo de este estudio es determinar y analizar la presencia de As en perfiles de suelos agrícolas del noreste del municipio de Irapuato, relacionando la

variabilidad vertical de los parámetros físicos y químicos en los suelos analizados con el elemento, y sus posibles fuente de aporte.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cuatro perfiles de suelo agrícola se muestrearon (ARC1, ARC2, ARE1 y ARE2) y un perfil testigo (CO) en el noreste del municipio de Irapuato (Gto.) (Imagen 1). La profundidad de muestreo fue a 120 cm, tomando muestras cada 20 cm. Asimismo, se describió cada perfil *in situ* con base en Soil Survey Staff Taxonomy, 2014 [11].

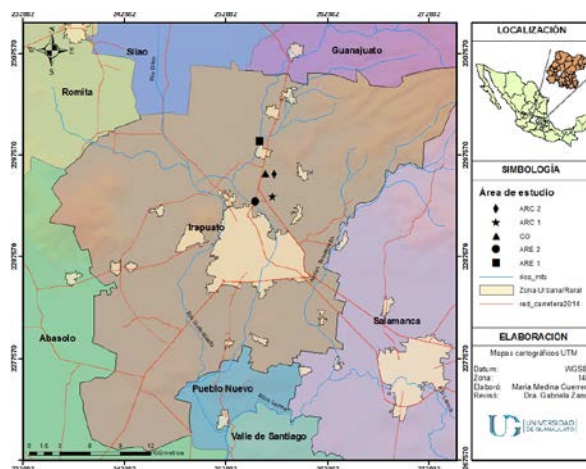


IMAGEN 1: Localización de los puntos de muestreo.

Las determinaciones físicas y químicas de suelo se hicieron según la NOM-021-SEMARNAT-2000 [12].

Las muestras se pusieron a secar durante una semana a temperatura ambiente, se molieron y tamizaron en un tamiz malla 10.

Las propiedades físicas analizadas fueron el contenido de humedad, la clase textural y conductividad eléctrica. Las propiedades químicas determinadas fueron el pH y la materia orgánica. El contenido de agua del suelo se calculó por el método gravimétrico (Temperatura: 105 °C durante 24 horas), las composiciones granulométricas por el método de Bouyoucos (1979) [13], la

conductividad eléctrica por el método del conductímetro (relación suelo: agua 1:2), el pH por el método potenciómetro (relación suelo: agua 1:2) y la materia orgánica por el método de pérdida por ignición (PPI<sub>550</sub>; Heiri et al. (2001) [14].

Las concentraciones totales del As se realizaron en CIATEC, A.C., León (Gto.) mediante la técnica Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), los resultados se compararon la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 [15].

El grado de contaminación se calculó mediante el Índice de Geoacumulación ( $I_{geo}$ ) propuesto por Müller (1969) [16], con base en la siguiente ecuación:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n}$$

Donde  $C_n$  es la concentración medida del elemento examinado del suelo,  $B_n$  es el valor de la concentración de geoquímica en la corteza terrestre [17]. En este estudio, el  $B_n$  se tomó con respecto a la concentración del suelo testigo.



IMAGEN 2: Calicatas de suelos a 120 cm de profundidad, ARE 1 y ARC1, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos ARC1 Y ARC2 se clasificaron como de orden Vertisol, mientras que el ARE1 y ARE2 de orden Entisol (Imagen 2). La textura granulométrica dominante en los dos suelos

Vertisoles fue arcillosa (59.9-73.6% arcilla) mientras que la textura de los Entisoles fue arenosa y franca (26-93% arena). La PPI<sub>550</sub> en ARC1 Y ARC2 osciló entre 4.9 y 6.9%, mientras que en ARE1 y ARE2 varió entre 1.4 y 4.9%. Los suelos arcillosos retienen mayor cantidad de materia orgánica que los suelos arenosos (Tabla 1) ya que está puede ser incorporada en el espacio interlaminar de la capas de arcilla. La acumulación de materia orgánica alcanzaría un nivel superior al de suelos arenosos, debido a que sus tasas de mineralización son inferiores a la de suelos arenosos [19].

Tabla 1. Determinaciones químicas de los suelos agrícolas, Mínimos y máximos para cada perfil; pH: potencial de hidrogeno, PPI<sub>550</sub>

Muestra	pH	%PPI <sub>550</sub>
ARC 1	8.3-8.6	6-6.8
ARC2	8.1-8.7	4.9-6.9
ARE1	8.2-8.9	4.9-1.8
ARE2	8.1-8.6	1.4-3

La materia orgánica permite mantener mayor retención de humedad, por lo que los resultados del contenido de humedad de los suelos ARC1 y ARC2 fluctuaron de 5.8 a 13.8%, relacionándose con la materia orgánica. [20] En cambio, ARE1 y ARE2 presentaron menor contenido de humedad (1.3-3.6%; Tabla 2).

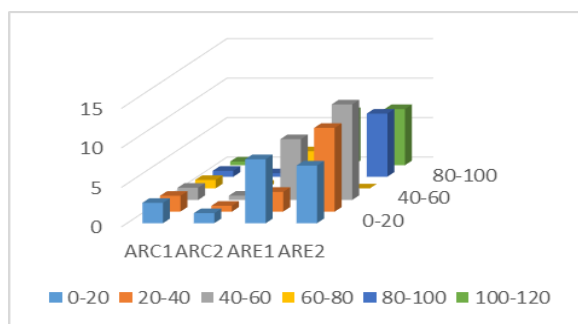
Tabla 2. Determinaciones físicas del suelo agrícolas. Máximos y mínimos para cada perfil. Hum: Humedad, CE: Conductividad eléctrica, Da: Densidad aparente.

Muestra	%Hum	CE (mS/cm)	% Textura
ARC 1	9.7-13.8	0.5-0.7	61-73.7 arcilla
ARC2	5.8-10	0.4-0.8	60-69 arcilla
ARE1	1.4-3.6	0.2-0.3	26-85 arena
ARE2	1.3-2.8	0.4-0.5	54-93 arena

De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 el pH de todos los suelos se encontró dentro de las categorías medianamente alcalino (7.4-8.5) a fuertemente alcalino (<8.5) (Tabla 1). En cuanto a la CE, los suelos resultaron no salinos (>2) (Tabla 2).

Las concentraciones totales de As oscilaron entre 0.358 y 12.1 mg kg<sup>-1</sup> en las muestras de suelo y no rebasaron los límites máximos permisibles para suelos de uso agrícola (22 mg kg<sup>-1</sup>) según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

IMAGEN 3. Concentración total de As (mg kg<sup>-1</sup>) en los perfiles de suelo.



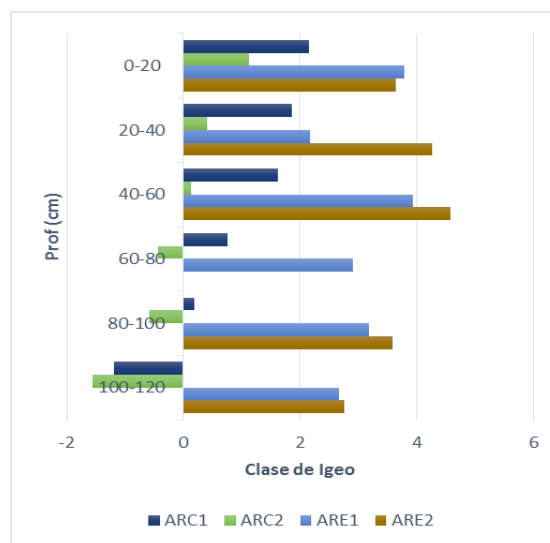
El I<sub>geo</sub>, de las muestras del suelo varió desde la clase 0 (no contaminada) hasta la clase 5 (fuertemente contaminado a extremadamente contaminado). El suelo ARC1 mostró en la capa superficial la clase 3 (de moderado a fuertemente contaminado) y conforme aumentó la profundidad disminuyó la clase hasta alcanzar la clase 0. El ARC2 presentó clase 2 (Moderadamente contaminado) en la capa superficial del suelo y disminuyó hasta clase 0 en la capa más profunda (100-120 cm).

El I<sub>geo</sub> en el suelo ARE1 presentó en la capa superficial clase 4 (fuertemente contaminado), sin embargo, presentó variaciones entre clase 3 y 4 en todo el perfil. El ARE2 alcanzó clase 4 y clase 5 (de fuertemente contaminado a extremadamente contaminado) en las capas superficiales, hasta la última capa con clase 3.

Las posibles fuentes de contaminación son el uso de agroquímicos y el agua de riego con concentraciones elevadas de As. Además, los contenidos de As son más altos en las capas superficiales, lo que podría representar un riesgo de acumulación en los cultivos. Con respecto a los

suelos arenosos, la textura arenosa dominante permitiría una mayor movilidad del As para que se expanda hasta los horizontes más profundos del suelo, quedando retenido probablemente en las fases del suelo por adsorción o precipitación.

Imagen 4. I<sub>geo</sub> de la concentración total de As calculados para las muestras de suelo a diferentes profundidades (0-120 cm) I<sub>geo</sub> < 0: no contaminado; 0 < I<sub>geo</sub> < 1: no contaminado a moderadamente contaminado; 1 < I<sub>geo</sub> < 2: moderadamente contaminado; 2 < I<sub>geo</sub> < 3 de moderado a fuertemente contaminado; 3 < I<sub>geo</sub> < 4 fuertemente contaminado; 4 < I<sub>geo</sub> < 5 de fuertemente contaminado a extremadamente contaminado



## CONCLUSIONES

El contenido más alto de As se encontró principalmente en los horizontes superficiales de los suelos, pudiendo ser retenido por el cultivo y la materia orgánica.

Todas las concentraciones totales de As en los suelos estudiados no rebasaron el límite máximo permisible para suelos de uso agrícola (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

Los contenidos más altos de As se presentaron en los suelos arenosos con un I<sub>geo</sub> de clase fuertemente contaminado a extremadamente contaminado (Clases 4 Y 5), indicando una acumulación por fuentes antrópicas.

Estudios posteriores como la mineralogía, el análisis químico de agua de pozos con los que se

riegan los sitios estudiados y extracción química secuencial, aportará mayor información de las posibles fuentes de proveniencia del As y sus mecanismos de retención en las fases sólidas del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a la Universidad de Guanajuato, que apoya al desarrollo de la investigación científica en jóvenes.

A la Dra. Gabriela Ana Zanor, por la oportunidad de ser parte de esta investigación y apoyo con sus conocimientos, tiempo y dedicación.

## REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Ecología. (2004). El suelo. Recuperado de: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/448/9.pdf>. Consultado el: 12/01/2016.
- [2] Porta, J. Lopez, A., M. y Poch, R., M.(2010). Introducción a la edafología. Uso y protección de los suelos.(2da ed.) Madrid. Ediciones Mundi.Prensa.
- [3] Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds). (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- [4] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Informe de la situación del Medio Ambiente en México. La degradación de los suelos en México. Recuperado de: [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/03\\_suelos/cap3\\_2.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html) 10/01/2016
- [5] Pérez G., G. (2005). Disponibilidad de metales tóxicos en sitios contaminados. Tesis doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona.378 p
- [6] Medel R. A., Ramos G. S., Avelar G. F., Godínez M. L., Rodríguez V. F. 2008. Caracterización de Jales Mineros y Evaluación de su Peligrosidad con Base en su Potencial de Lixiviación. *Conciencia Tecnológica*, 35, 32-35.
- [7] Mendoza, A.E., Armienta H.A., Ayora, A., Soler, A., Ramos, R.E. (2006). Potencial de lixiviación de elementos traza en jales de las minas La Asunción y Las Torres, en el Distrito Minero de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23, 75-83.
- [8] Salas M., E. (2014). Geoquímica y mineralogía de jales en mina Aurora, Xichú, Guanajuato. Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.120 p.
- [9] Saldaña, A. (2010). Efecto de la Contaminación por Arsénico en Cebada (*Hordeum vulgare*) en el Municipio de Irapuato, Gto. Tesis de Maestría, CIATEC. 93 p.
- [10] Elia, C., F. (2007). Escenarios de riesgos por contaminación debida a la presencia de arsénico en aguas subterráneas de Irapuato, Gto. Tesis de licenciatura. UG. 60 p.
- [11] Soil Survey Stadd. (2014). Keys to Soil Taxonomy. (12 da ed.) United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service
- [12] NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 73 p.
- [13] Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- [14] Heiri, O., Lotter, A. F. y Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101-110.
- [15]NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 Norma Oficial Mexicana). 2004. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 69 p.
- [16]Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- [17] Aguila, J., P. Lugo, F., J. Vaca, P., R. (2005). Determinación de factores de enriquecimiento y geocaumulacion de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma. *Ciencia Ergo Sum*, 12 (2) pp 155-161
- [18] Loska, K. Wiechula, D. y Korus I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30, pp 159 – 165
- [19] Matuz, J., F. y Maire, G.,C. (2000). Relación entre la materia orgánica del suelos, textura del suelos y tasas de mineralización del carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60 (2) pp 112-126.
- [20] Ribón, C., M. Salgado, G., S.; Palma, L., D. y Lagunez, E C.(2003). Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia* 28 (3) pp 154-159.