

Capítulo 6 Concentración de metales pesados en suelos de la península de Atasta, Campeche

Chapter 6 Heavy metal concentration in soils of the Atasta peninsula, Campeche

BENÍTEZ-PINEDA, Paulo Alberto*, RAMÍREZ-ELÍAS, Miguel Ángel, ANGUEBES-FRANSESCHI, Francisco y AGUILAR-UCÁN, Claudia Alejandra

Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Química. Calle 56 No. 4 Esq. Avenida Concordia Col. Benito Juárez C.P. 24180 Cd. del Carmen, Campeche, México

ID 1^{er} Autor: *Paulo Alberto, Benítez-Pineda* / **ORC ID:** 0000-0002-4340-318X, **CVU CONACYT ID:** 920418

ID 1^{er} Coautor: *Miguel Ángel, Ramirez-Elías* / **ORC ID:** 0000-0002-3962-1117, **CVU CONACYT ID:** 226557

ID 2^{do} Coautor: *Francisco, Anguebes-Franzeschi* / **ORC ID:** 0000-0002-8190-2211, **CVU CONACYT ID:** 217824

ID 3^{er} Coautor: *Claudia A., Aguilar-Ucan* / **ORC ID:** 0000-0002-1733-2867, **CVU CONACYT ID:** 93717

DOI: 10.35429/H.2021.12.1.56.68

P. Benítez, M. Ramírez, F., Anguebes y C. Aguilar

* paulo_1809@hotmail.com

S. Figueroa, B. Pérez, J. Flores, L. Santis. (AA. VV.) Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Handbooks-©ECORFAN-México, Campeche, 2021.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración de metales pesados presentes en los suelos de la región de Atasta, Campeche. El trabajo contribuye a un mejor conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos de Atasta dentro de las zonas semiurbanas e industriales. La hipótesis supone que existe contaminación por metales pesados en los suelos de la zona, derivada de la actividad industrial y del tráfico vehicular permanente. Se recolectaron muestras de suelo superficial durante dos temporadas en 10 sitios seleccionados, con las cuales se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos mediante la NOM-021-SEMARNAT-2000; así como el análisis de metales pesados (As, Cd, Cr, Ni, Pb) mediante el método (EPA 3050-B) y espectrofotometría de emisión atómica. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente perfil promedio de los parámetros físicos y químicos de los suelos durante la estación seca y lluviosa, respectivamente: concentraciones de 6,44 y 6,52 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el As; 0,001 y 0,004 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el Cd; de 90,41 y 73,03 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el Cr; 100,9 y 117,16 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el Ni; de 14,94 y 21,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ para el Pb; pH entre 7,2 y 8,5, CE entre 0 y 7 dS/m y MO entre 0 y 16,5%. En cuanto a la textura, los suelos en el 80% de los sitios presentaron un perfil arenoso. El ANOVA indicó que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las estaciones de estudio en las concentraciones medias de As, Cd y Cr.

Metales pesados, Contaminación del suelo, pH, Materia orgánica, Textura

Abstract

The present study aimed to determine the concentration levels of heavy metals present in soils of the Atasta region, Campeche. The work contributes to a better knowledge of the physical and chemical properties of Atasta soils within semi-urban and industrial areas. The hypothesis assumes that there is contamination by heavy metals in soils in the zone, derived from industrial activity and permanent vehicular traffic. Surface soil samples were collected during two seasons in 10 selected sites, with which analyzes of physicochemical parameters were carried out by NOM-021-SEMARNAT-2000; as well as the analysis of heavy metals (As, Cd, Cr, Ni, Pb) using the method (EPA 3050-B) and atomic emission spectrophotometry. The results obtained are shown in the following average profile of physical and chemical parameters of the soils during the dry and rainy season, respectively: concentrations of 6.44 and 6.52 $\mu\text{g g}^{-1}$ for As; 0.001 and 0.004 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Cd; of 90.41 and 73.03 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Cr; 100.9 and 117.16 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Ni; of 14.94 and 21.01 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Pb; pH between 7.2 and 8.5, EC between 0 and 7 dS / m and MO between 0 and 16.5%. Regarding the texture, the soils in 80% of the sites presented a Sandy profile. The ANOVA indicated that there are no significant differences ($p > 0.05$) between the study seasons in the average concentrations of As, Cd and Cr.

Keywords: heavy metals, soil contamination, pH, organic matter, texture

6.1 Introducción

La Península de Atasta, Campeche, forma parte del Área Natural Protegida de Flora y Fauna de la Laguna de Términos, de ahí la importancia de la conservación de sus suelos; dado que estos contribuyen de forma directa a la conservación de flora y fauna silvestre; así como, en la reducción de la erosión de estos, en el borde costero del sistema lagunar Pom-Atasta. Por lo anterior, surge el interés de determinar si existe o no contaminación de los suelos de la península, por metales pesados. Se presume que la actividad petrolera en la región de la planta de compresión de gas de Atasta; así como el tráfico vehicular permanente en la zona, son factores que representan las principales fuentes de contaminación de los suelos por metales pesados. Es por esto, que el objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de metales pesados en suelos de la Península de Atasta, Campeche.

6.2 Metodología

En esta investigación se seleccionaron 10 sitios de muestreo (Tabla A.1), en los cuales se colectaron muestras de suelo superficial en dos temporadas climáticas (secas y lluvias). Las muestras del suelo se colectaron en bolsas de plástico por triplicado de cada sitio de muestreo y se conservaron a 4°C para su posterior análisis en laboratorio de pH, materia orgánica, textura y metales pesados (As, Cd, Cr, Ni, Pb).

El pH se analizó aplicando el método potenciométrico, la materia orgánica por el método de Walkey & Black y la textura se realizó mediante la técnica de Bouyoucos; métodos contenidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000. La cuantificación de metales pesados se realizó mediante la digestión ácida de los suelos aplicando el método 3050B de la EPA y se cuantificaron por Espectrofotometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

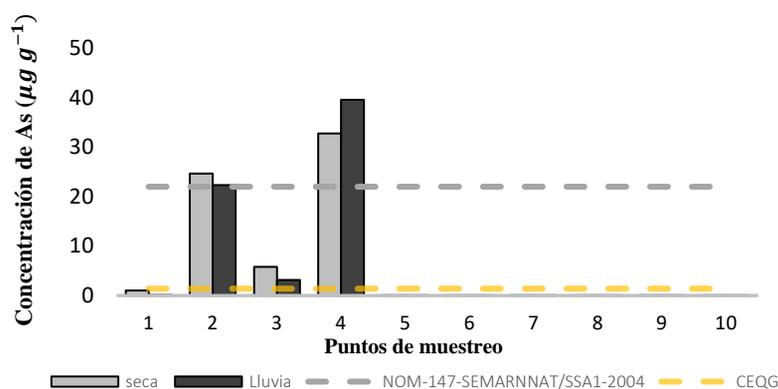
Para el desarrollo del trabajo estadístico, se empleó el software InfoStat® 2017. Se determinaron las medidas de tendencia central por sitio y temporada. El análisis de varianza se realizó mediante el método de comparación múltiple, propuesto por Fisher (LSD Fisher), para comparar las medias de pares. Por último, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la relación lineal entre variables fisicoquímicas y metales pesados de los suelos de Atasta, Campeche.

6.3 Resultados

6.3.1 Concentración de Arsénico (As)

Las concentraciones promedio de As presentes en los suelos de Atasta, fueron: $6.44 \pm 12.02 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de secas y $6.52 \pm 13.53 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de lluvias (Gráfico 6.1).

Gráfico 6.1 Concentración promedio de Arsénico en suelos de la península de Atasta en la temporada de lluvias y secas



Las diferencias significativas de la concentración promedio de As en las dos épocas estudiadas son importancia para conocer el comportamiento del metal en el ambiente, ya que los datos muestran que en la temporada de lluvia hay mayor movilidad del As en el suelo, pudiendo ingresar a los cultivos, a cuerpos de agua y de esta manera convertirse en un elemento tóxico para los organismos vivos, en especial para el ser humano.

El contenido de As, en la temporada de secas tuvo un valor mínimo de $0.01 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ y un valor máximo de $32.75 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$. Para la época de lluvia, la concentración mínima fue de $0.01 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ y la concentración máxima fue de $39.57 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$. Esta variación entre ambas épocas del año se debe a las altas precipitaciones que se presentaron en los meses de marzo, junio, provocando la lixiviación del As en el suelo. Se encontró que los sitios 2, 3 y 4 presentan altas concentraciones de As, superando la concentración natural de As en el suelo.

En la época de secas y lluvias, el valor más alto de As, se obtuvo en el sitio 4 con $32.75 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ y $39.57 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$, respectivamente. Los sitios 2 y 4, en las dos épocas estudiadas (lluvias y secas), rebasan los límites máximos permisibles de NOM-147.

6.3.2 Concentración de Cadmio (Cd)

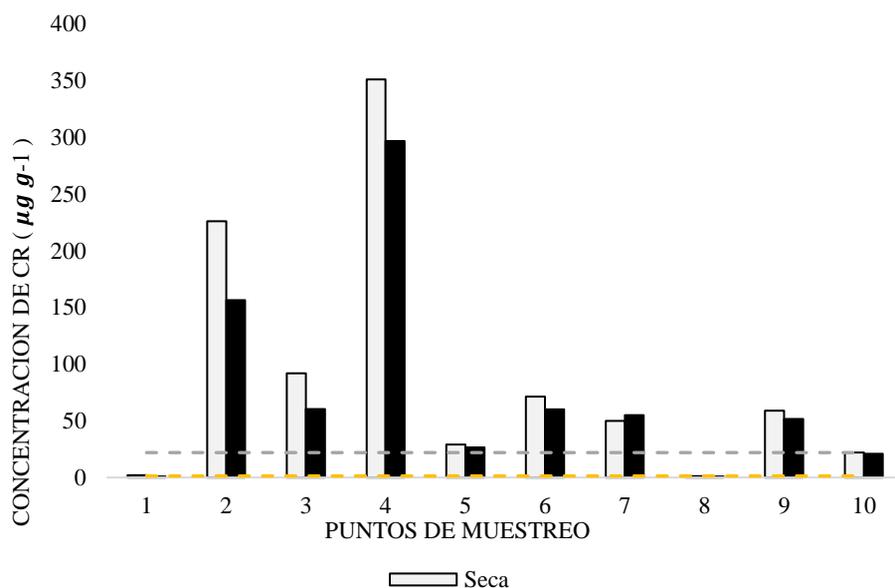
Las concentraciones promedio de Cd presentes en los suelos de Atasta, fueron: $0.001 \pm 0.0032 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de secas y $0.004 \pm 0.01 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de lluvias.

Las concentraciones de obtenidas de Cd en los diez sitios de muestreo durante las dos temporadas, fueron muy bajas y no detectables. Lo anterior, probablemente se deba a que los sitios de muestreo se caracterizaron por presentar alto porcentaje de arenas (textura franco-arenosa), las cuales mantienen espacios grandes, entre partículas que facilitan el paso del agua en el suelo y por lo tanto la migración de los metales pesados de canalizan hacia horizontes más profundos y a cuerpos de agua. Lo anterior, sugiere que el Cd sufrió un proceso de lixiviación resultando imposible su cuantificación en los sitios de estudio. Las únicas concentraciones que se obtuvo fue en los sitios 2,4 en la temporada de lluvia de $0.2 \frac{\mu g}{g}$ y que resulto insignificante, reafirmando que la presencia del Cadmio se debe a la proximidad de la planta de recompresión de gas ubicada en estos sitios.

6.3.3 Concentración de Cromo (Cr)

Las concentraciones promedio de Cr presentes en los suelos de Atasta, fueron: $90.41 \pm 112.35 \mu g g^{-1}$ en temporada de secas y $73.03 \pm 90.28 \mu g g^{-1}$ en temporada de lluvias (Gráfico 6.2).

Gráfico 6.2 Concentración promedio de Cromo en suelos de la península de Atasta en la temporada de lluvias y secas



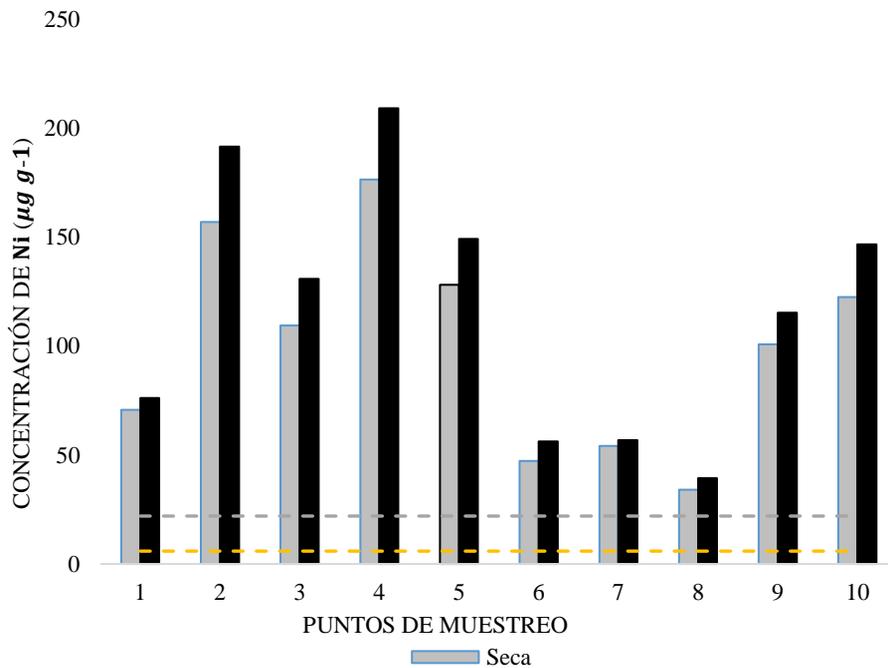
La concentración de Cromo en la época de lluvias muestra como valor mínimo una de concentración de $0.96 \frac{\mu g}{g}$ en el sitio 1, como valor máximo $296.75 \frac{\mu g}{g}$ en el sitio 4 (Gráfico 6.2). En relación a la temporada de secas, se obtuvo un valor mínimo de Cr en el sitio 8 de $1.14 \frac{\mu g}{g}$, un valor máximo se registro para el sitio 4 de $351.25 \frac{\mu g}{g}$. Esta variación entre ambas épocas del año se debe a las altas precipitaciones que se presentaron en los meses de junio y septiembre, provocando la lixiviación del Cromo en el suelo. Con la realización de este estudio, se encontró que el sitio de estudio presentó altas concentraciones de Cromo, superando la concentración natural de Cr en el suelo. De acuerdo con el Gráfico 6.2 en la época de secas el valor más alto se obtuvo en el sitio 4 con una concentración de $296.75 \frac{\mu g}{g}$ de Cr, en la época de lluvias en el sitio 4 con $351.25 \frac{\mu g}{g}$.

Los elementos como el Cr presentan una mayor movilidad debido a la solubilidad relativa de los complejos que se pueden formar en suelos neutros o alcalinos. Con esto se espera obtener más concentración de As y Cr soluble, los cuales son biodisponibles para las plantas a bajas concentraciones. En el sitio de estudio los valores son muy diferentes, ya que los resultados estadísticos muestran que existe una alta diferencia significativa ($0.0001, p < 0.05$), por lo que su origen puede ser antrópico. De acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y las normas canadienses, en ambas temporadas los sitios 2,3,4,5,6,7,9,10 sobrepasaron los límites máximos de concentración de Cromo (Tabla 6.2). Lo anterior, indica que los sitios están contaminados, existiendo un riesgo al cual está expuesta la población, con la probabilidad de tener efectos adversos en la salud.

6.3.4 Concentración de Níquel (Ni)

Las concentraciones promedio de Ni presentes en los suelos de Atasta, fueron: $100.9 \pm 47.79 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de secas y $117.16 \pm 58.85 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de lluvias (Gráfico 6.3).

Gráfico 6.3 Concentración promedio de Níquel en suelos de la península de Atasta en la temporada de lluvias y secas



El contenido de Ni en la época de secas, muestra como valor mínimo de concentración $34.06 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 8 San Antonio Cárdenas (Casa), el valor máximo se obtuvo en el sitio 4 con $176.46 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en la planta de recompresión de gas I (Atasta) (Gráfico 6.3).

Para la época de lluvias, la concentración mínima fue de $39.41 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 8, y el valor máximo se obtuvo en el sitio 4 con $209.18 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$. En la época de secas, el valor más alto se obtuvo para el sitio 4 con una concentración de $176.46 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ de Ni, en la época de lluvias en el sitio 4 con $209.18 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$.

El níquel es liberado al medio ambiente a partir de una gran variedad de fuentes naturales y antropogénicas. Una cantidad considerable deriva de la combustión del carbón, petróleo, y otros combustibles fósiles. La porción más grande de níquel y sus compuestos son adsorbidas sobre los sedimentos, se inmovilizan, se captan por las plantas cultivadas y a través de los alimentos llegan al ser humano (Olivares, 2015).

En el sitio de estudio, los valores son muy diferentes ya que los resultados estadísticos muestran que existe una alta diferencia significativa (0.0001 , $p < 0.05$). El sitio tiene una gran influencia sobre la abundancia del Ni, su origen se debe a que es antrópico.

Sastre Conde et al., (2003) estudiaron la distribución de metales pesados en el sedimento del sistema fluvial – lagunar Pom – Atasta, Campeche (México). En ambas lagunas se observaron altos contenidos de metales considerados altamente tóxicos para los organismos. También se observó que el Ni predomina en los diferentes puntos de muestreo en ambas lagunas, siendo este elemento el que parece controlar el comportamiento del resto de los metales, al igual con los datos obtenidos de la península de Atasta el níquel predominó en todos los sitios.

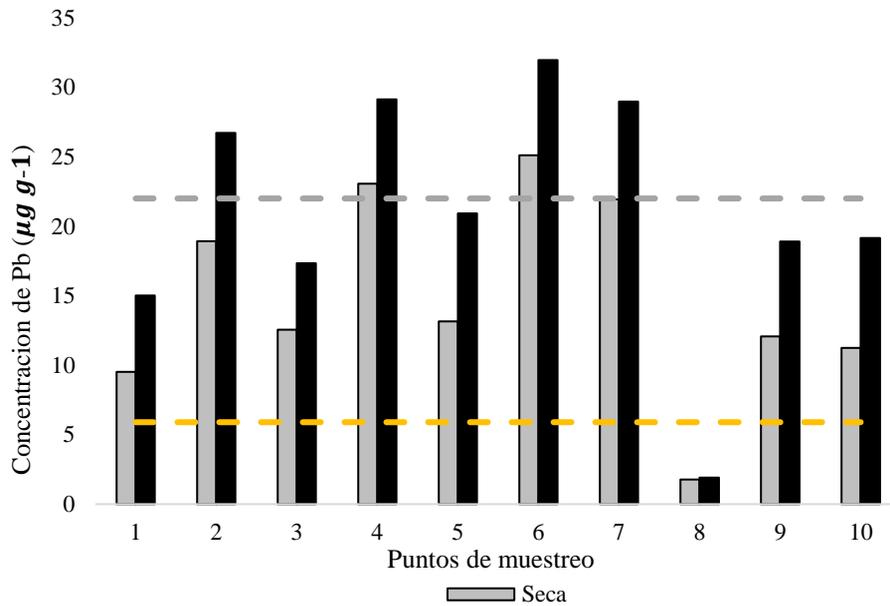
De acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y las normas canadienses, para ambas temporadas los diez sitios sobrepasaron los límites máximos de concentración de níquel (Tabla 6.2).

ATSDR et al., (2005) Menciona que puede deberse a que el níquel es liberado por plantas de energía, quema de basura, aguas residuales. También depositadas en el suelo o son removidas del aire en la lluvia o la nieve.

6.3.5 Concentración de Plomo

Las concentraciones promedio de Pb presentes en los suelos de Atasta, fueron: $14.94 \pm 7.21 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de secas y $21.01 \pm 8.85 \mu\text{g g}^{-1}$ en temporada de lluvias (Gráfico 6.4).

Gráfico 6.4 Concentración promedio de Plomo en suelos de la península de Atasta en la temporada de lluvias y secas



El valor máximo en la temporada de seca fue $25.11 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 6, el valor mínimo fue de $1.78 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 8. En la temporada de lluvia el valor máximo fue de $31.97 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 6, el valor mínimo $1.91 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ en el sitio 8. En la época de secas el valor más alto se obtuvo en el sitio 6, con una concentración de $25.11 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ de Pb, en la época de lluvias en el sitio 6 con $31.97 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$.

En el sitio de estudio, los resultados estadísticos muestran que existe una alta diferencia significativa ($0.0001, p < 0.05$). El sitio tiene una gran influencia sobre la abundancia del Pb, su origen se debe a que es antrópico.

De acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y las normas canadienses (CEQG), para la época de secas y lluvias, los sitios 2,4,6,7 sobrepasaron los límites máximos de concentración de plomo (Tabla 6.2). Lo que indica, que los sitios anteriores están contaminados, existiendo un riesgo al cual está expuesta la población de la localidad, generando específicamente efectos adversos a la salud.

Las principales causas de la contaminación del Pb en el suelo se deben a plaguicidas, venenos industriales, soldaduras, corrosión de metales, etc. (Lozada, 2007).

Tabla 6.2 Niveles de referencia para la identificación de suelos contaminados en algunos países del mundo.

País	As $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$		Cd $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$		Cromo $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$		Níquel $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$		Plomo $\frac{\text{mg}}{\text{kg}}$		Fuente
	RSH	RE	RSH	RE	RSH	RE	RSH	RE	RSH	RE	
Canadá	12	12	10	1.4	64	64	50	50	140	70	CEQG (2002)
México	20	20	20	20	20	20	20	20	200	100	PROFEPA (2000)

Nota: RSH: riesgo a la salud humana; RE: riesgo ecológico; NR: datos no reportados. – No disponible. * En los Estados Unidos de Norte América (EUA), los niveles de referencia varían entre las diferentes regiones. En esta tabla se presentan los que corresponden a la región 9 (Arizona, California, Hawái e Islas del Pacífico) (Gutiérrez,2007).

6.3.6 Parámetros fisicoquímicos

Los diez sitios mostraron un valor de pH mínimo de 7.72, un valor máximo de 8.3. Todos son medianamente alcalinos, lo que proporciona condiciones factibles para la disponibilidad nutrimental de los elementos esenciales para el suelo y las plantas.

El pH es un factor importante para la disponibilidad de los metales pesados, ya que a pH ácido, la mayoría de los metales están más disponibles, excepto el Arsénico (As) y Cromo (Cr), los cuales están más disponibles a un pH alcalino.

Con esto se espera obtener más concentración de As y Cr soluble, los cuales son biodisponibles para las plantas, teniendo un tipo de suelo medianamente alcalino de acuerdo con los valores de pH (Roca, 2001).

La conductividad eléctrica (CE) en los suelos estudiados están en el intervalo de 0.00 – 13.0 $dS\ m^{-1}$, poniendo de manifiesto la presencia de sales en estos suelos. La Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, establece que cuando la CE tiene rangos menores a 7.0 $dS\ m^{-1}$, el suelo tiene efectos despreciables de salinidad.

Los porcentajes de materia orgánica en el sedimento oscilaron entre 0.0 y 12.0 %. La clasificación que hace la NOM-021-SEMARNAT-2000 en base a la materia orgánica, ubica a los suelos de la península de Atasta como suelos volcánicos. García et al., (2019) especifican que las sustancias que componen la MO regulan el pH del medio, influyen la disponibilidad de nutrientes y metales.

La MO mejora la condición estructural tanto de los suelos arenosos como arcillosos. (Argaez, 2013). La gran cantidad de MO en estos sitios se debe a que se encuentra en suelos que pertenecen a la región de la laguna de Términos, por la acumulación de sedimentos de bajo de la flora que existen en los alrededores; también por que la laguna atrae diversas MO de otras partes, que luego terminan formando parte del suelo de la península de Atasta. Otro motivo por el cual, la MO tuvo un incremento debido a que, en la temporada de lluvia, el nivel del agua crece, dispersando todo tipo de sedimentos en los poblados que conforman la península de Atasta, alterando el ecosistema de posibles niveles de concentración de metales pesados, pH.

Por otra parte, dado que predomina la presencia de arenas en los suelos de Atasta, se espera una posibilidad de una menor concentración de metales pesados, ya que estos suelos carecen de la capacidad de fijarlos, por lo cual estos elementos pasan rápidamente al subsuelo y consiguen frecuentemente contaminar los niveles freáticos. El limo fue el segundo sedimento que en más porcentaje se encontró en los sitios de la península de Atasta, en la temporada de seca, por su tamaño pequeño, ligero, es llevado por medio de las corrientes de los ríos, es depositado en diferentes áreas, particularmente cercanas a los cauces de los ríos, lagunas de la península de Atasta. Los suelos analizados en la temporada de seca tuvieron un mayor contenido de arcilla en los sitios 2,5,8,9, en la lluvia 5,7,9. Para este caso, la arcilla predominó más, en la temporada de secas, debido a esto se espera que se encuentre una mayor concentración de metales pesados; sin embargo, para que eso suceda debe considerarse otros parámetros fisicoquímicos. Este tipo de textura del suelo hace que la infiltración del agua sea escasa, por lo cual se considera que los sitios en donde predominaron altos porcentajes de arcillas, tengan una buena capacidad de retención de agua, teniendo en cuenta que las partículas más pequeñas (arcillas) tienen mayor área superficial en relación con su volumen. En las dos temporadas se determinó el tipo de sedimento, mediante el triángulo de textura, obteniendo el franco arenoso, arenoso.

Espinoza et al., (2008) menciona que los contenidos de limos y arcillas se correlacionan positivamente con metales potencialmente biodisponible, esto se debe a la mayor área superficial de los minerales de arcilla que favorecen la retención de metales pesados en formas intercambiables. En el suelo de la península de Atasta la granulometría tiene un papel importante en el tamaño de los granos que contiene y la proporción en que se encuentra cada uno de ellos, debido a que de ellos depende el volumen de huecos, cuanto menos es el volumen de huecos, más compacto será el suelo.

6.4 Análisis estadísticos

6.4.1 Arsénico (As)

El ANOVA y la correlación se evaluaron con el programa estadístico InfoStat® 2017. En la Tabla 3, se muestra el ANOVA para el As en relación con el sitio y temporada de muestreo.

Tabla 6.3 Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para el As

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Media	Estadístico F	Estadístico P
A= Sitio	2919.94	9	324.44	97.83	<0.0001
B= Temporada	0.04	1	0.04	0.01	0.9182
Residual	29.85	9	3.32		
Total	2949.82	19			

*Significativo con un nivel de confianza del 95%.

Los resultados revelan que para el As el valor estadístico “p” para el sitio si fue significativo (0.0001, $p < 0.05$). Lo que demuestra que si hay diferencias estadísticamente significativas por sitio para el As, sin embargo, para la temporada climática los valores no son diferentes, ya que los resultados estadísticos muestran que no existe diferencia significativa (0.9181, $p > 0.05$). En este caso los sitios tienen una gran influencia sobre la abundancia de As, contrario a lo que demuestra Bucio et al., (2008). En cuanto a los resultados de correlación con las fracciones de suelo, la materia orgánica, pH se muestran en la Tabla 4. Los resultados estadísticos demuestran que no existe una correlación significativa de As con la textura, materia orgánica y pH ($p > 0.05$).

Tabla 6.4 Valores de las correlaciones de textura, materia orgánica y pH con el As

Estadísticos de prueba	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
Valor del coeficiente de correlación r	-0.19	0.27	-0.07	0.22	0.01
Valor del estadístico p del modelo	0.4174	0.2535	0.7804	0.3617	0.9538

*Significativo con un nivel de confianza del 95%.

Como se menciona en estudios de Ruiz – Marin et al. (2014) el As no mostro relación con la MO, que sus concentraciones se explican por procesos biogeoquímicos naturales. Bundschuh et al. (2010) mencionan que el As se asocia a partículas muy finas en granos de arcilla, MO, sus altas concentraciones provienen de descargas de aguas residuales y manejo de hidrocarburos.

6.4.2 Cadmio (Cd)

Tabla 6.5 Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para el Cd.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Media	Estadístico F	Estadístico P
A= Sitio	5.3E-04	9	5.8E-05	2.56	0.0887
B= Temporada	4.5E-05	1	4.5E-05	1.98	0.1934
Residual	2.1E-04	9	2.3E-05		
Total	7.8E-04	19			

*Significativo con un nivel de confianza del 95%.

Los resultados revelan que para el Cd el valor estadístico “p” para el sitio no existe una diferencia significativa (0.0887, $p > 0.05$). Lo que demuestra que no hay diferencias estadísticamente significativas por sitio para el Cd, tampoco para la temporada, ya que los resultados estadísticos muestran que no existe diferencia significativa (0.1934, $p > 0.05$) (Tabla 6.5). Aguilar et al., (2018) menciona que el análisis estadístico del cadmio por sitio no fue significativo ($p > 0.05$), pero si por temporada ($p = 0.000$), distinto a los obtenidos en suelos de la península de Atasta, donde no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones por sitio y temporada de Cadmio. Los resultados de correlación indican que existe relación significativa de Cd con MO y pH; contrario a lo mencionado por Aguilar et al. (2009) que el Cd no muestra relación significativa con la materia orgánica (Tabla 6.6).

Tabla 6.6 Valores de las correlaciones de la textura, materia orgánica y pH con el Cd.

Estadísticos de prueba	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
Valor del coeficiente de correlación r	-0.34	0.35	-0.36	0.59	-0.50
Valor del estadístico p del modelo	0.1450	0.1258	0.1212	0.0060	0.0256
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

Debido a la relación del Cd con la MO esto llega de manera al suelo, agua, alimentos, al ser tomados por las plantas y los animales, ya que proviene de manera antrópica, afectando la salud humana (ATSDR,2007).

6.4.3 Cromo (Cr)

En la Tabla 6.7, el ANOVA muestra solo diferencias significativas del Cr entre sitios. Los resultados revelan que para el Cr el valor estadístico “p” entre temporadas no fue significativo (0.0622, $p > 0.05$). Lo que demuestra que no hay diferencias estadísticamente significativas por temporada para el Cr, sin embargo, para el sitio los valores son muy diferentes ya que los resultados estadísticos muestran que existe una alta diferencia significativa (0.0001, $p < 0.05$). El sitio tiene una gran influencia sobre la abundancia del Cr, su origen se debe a que es antrópico como lo demuestra Carreño (2011).

Tabla 6.7 Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para el Cr.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Media	Estadístico F	Estadístico P
A= Sitio	183957.93	9	20439.77	61.34	<0.0001
B= Temporada	1509.80	1	1509.80	4.53	0.0622
Residual	2999.14	9	333.24		
Total	188466.88	19			
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

En la Tabla 6.8, se muestra principalmente la correlación significativa del Cr con la MO y pH. Existe una alta dependencia de los valores de la materia orgánica en el Cr, al ser este uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre no es fácil identificar si los incrementos son por fuentes antrópicas o de fuentes naturales; esta zona está fuertemente influenciadas por zonas extensas de manglares y de macrófitas que incrementan dramáticamente los niveles de materia orgánica que predispone la presencia y abundancia de metales pesados como del Cr al formar compuestos de óxidos y ligandos con la materia orgánica.

Tabla 6.8 Valores de las correlaciones de la textura, materia orgánica y pH con el Cr

Estadísticos de prueba	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
Valor del coeficiente de correlación r	-0.41	0.44	-0.06	0.56	-0.50
Valor del estadístico p del modelo	0.0761	0.0507	0.7906	0.0140	0.0286
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

6.4.4 Níquel (Ni)

Tabla 6.9 Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para el Ni

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Media	Estadístico F	Estadístico P
A= Sitio	51134.42	9	5681.60	85.75	<0.0001
B= Temporada	1457.95	1	1457.95	22.00	0.0011
Residual	596.35	9	66.26		
Total	53188.72	19			
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

En la Tabla 6.9, se indican que el Ni, presenta altas diferencias significativas entre sitios y temporadas. El níquel es un metal de transición con cinco estados de oxidación que puede formar una gran variedad de especies distintas (Olivares, 2012).

El níquel se encuentra en el aire, en el suelo, puede tardar días o meses para ser removidos. Una cantidad considerable deriva de la combustión del carbón, petróleo, y otros combustibles fósiles, la incineración de residuos y las aguas residuales. La porción de níquel en el suelo se capta por las plantas cultivadas y a través de los alimentos que llegan al ser humano (Olivares, 2015).

De acuerdo con Ruiz-Marin et al. (2014), el Ni presentó correlaciones significativas con limo y materia orgánica ($p \leq 0.05$), lo que indica que sus concentraciones se pueden explicar por procesos biogeoquímicos naturales. En cuanto a las correlaciones del Ni, la Tabla 10 muestra que hay diferencias significativas con el Limo, y la MO.

Tabla 6.10 Valores de las correlaciones de la textura, materia orgánica y pH con el Ni.

Estadísticos de prueba	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
Valor del coeficiente de correlación r	-0.37	0.45	0.03	0.48	-0.19
Valor del estadístico p del modelo	0.1124	0.0472	0.9149	0.0383	0.4052
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

6.4.5 Plomo (Pb)

Tabla 6.11 Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para el Pb

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Media	Estadístico F	Estadístico P
A= Sitio	1147.58	9	127.51	47.22	<0.0001
B= Temporada	183.98	1	183.98	68.13	<0.0001
Residual	24.30	9	2.70		
Total	1355.86	19			
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

En la Tabla 11, se indica que el Pb presentó diferencias altamente significativas entre sitios y temporadas y el aporte antrópico de las actividades ganaderas y agricultura que se realizan en los sitios cercanos de muestreo influyen en la concentración detectadas, tal como lo menciona Castañeda (2011); además que el Pb en temporada de seca registró la mayor concentración.

Tabla 6.12 Valores de las correlaciones de la textura, materia orgánica y pH con el Pb

Estadísticos de prueba	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH
Valor del coeficiente de correlación r	-0.27	0.31	-0.31	0.42	-0.63
Valor del estadístico p del modelo	0.2565	0.1883	0.1890	0.0704	0.0057
<i>*Significativo con un nivel de confianza del 95%.</i>					

En cuanto a las correlaciones del Pb, la Tabla 6.12 muestra que no hay diferencias significativas con la textura del suelo, a diferencia de la MO y el pH. Lozada et al., (2007) menciona que al ser este uno de los elementos que se da de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas en el ambiente son el resultado por origen antrópico, sus principales causas de la contaminación ambiental con este metal son: la utilización en los aditivos antidetonantes de la gasolina, plaguicidas. Como mencionan en otros estudios Ruiz – Marín et al., (2014) que el Pb presente correlaciones significativas con la MO ($p \leq 0.05$), lo que indica que sus concentraciones se pueden explicar por procesos biogeoquímicos naturales, que una parte tiene relación antropogénica.

6.4.6 Análisis de correlación múltiple entre metal – metal

Se realizó un análisis de correlación entre metal – metal (Tabla 6.13), para determinar el grado de relación entre las variables y poder determinar si tienen fuentes de generación en común.

Tabla 6.13 Coeficientes de correlación de Spearman temporada de Lluvias

	As	Cd	Cr	Ni	Pb
As	1.00				
Cd	0.95*	1.00			
Cr	0.97*	0.90*	1.00		
Ni	0.74*	0.74*	0.71*	1.00	
Pb	0.41	0.41	0.56	0.35	1.00

**Correlación significativa ($p \leq 0.05$).*

Los resultados en la temporada de lluvias indican que existe una relación entre el Ni-As, Cr-As, Cd-As, Ni-Cd, Cr-Cd, Ni-Cr. Probablemente tienen fuentes en común de generación, otros estudios como el Aguilar et al. (2009) no observaron correlación significativa entre metal – metal.

Tabla 6.14 Coeficiente de correlación Spearman en temporada de Secas

	As	Cd	Cr	Ni	Pb
As	1.00				
Cd	0.77*	1.00			
Cr	0.97*	0.82*	1.00		
Ni	0.76*	0.56	0.74*	1.00	
Pb	0.44	0.40	0.59	0.28	1.00

**Correlación significativa ($p \leq 0.05$).*

Para la temporada de secas la relación fue Ni-As, Cr-As, Cd-As, Cr-Cd, Ni-Cr (Tabla 14). Los resultados son similares a la anterior, hay probabilidades de tener fuentes en común de generación, debido a que el As al presentar correlación significativa con metales como Ni, Cd y Cr; indica que existe una misma fuente de generación y, por tanto, mayor influencia antropogénica en la contaminación que presentan los suelos de Atasta, Campeche.

6.5 Agradecimientos

Paulo. A. Benítez Pineda, agradece al Laboratorio de Ing. Ambiental de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Carmen, el apoyo brindado durante la presente investigación. así como al PNPC_CONACYT por la beca recibida durante los estudios de Maestría en Ciencias Ambientales (3a Generación: 2018-2020, CVU-920418)

6.6 Conclusiones

La ausencia de programas de vigilancia, control de contaminantes al ambiente costero mexicano, la creciente urbanización, la falta de una verdadera aplicación de normas ambientales, han ocasionado que los suelos de la Península de Atasta presenten problemas de contaminación por presencia de metales pesados principalmente de Cr, Ni y Pb.

Los sitios 2,3,4 de los suelos de la península de Atasta presentaron las concentraciones promedio más altas de As, Cd, Cr. Los sitios 2,3,4,5,9,10 mostraron las concentraciones más altas de Níquel y el Pb en los sitios 2,4,6,7; en ambas temporadas (lluvias y secas) en el estudio de metales pesados realizado en 2019.

En la época de lluvias el Cromo, Níquel y Plomo fueron los elementos con mayor concentración en los suelos estudiados, lo cual indica la presencia de niveles no permitidos para los tres elementos de acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, las normas canadienses y estadounidenses. Con respecto a la época de secas siguen siendo el Cromo, Níquel y el Plomo los de mayor concentración. Lo anterior, sugiere que los suelos localizados en la periferia de la Planta de recompresión de Atasta se encuentran contaminados por Cr, Ni y Pb y rebasaron los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Mexicana (NOM-147) y Norma Canadiense (CEQG).

Los resultados del presente estudio servirán como antecedente en futuras investigaciones en la relación planta-suelo-microorganismos, para una posible aplicación de fitorremediación en los sitios con mayor concentración de metales en la península de Atasta, Campeche.

Conociendo que existen concentraciones elevadas de Cr, Ni y Pb, y que éstos son los más tóxicos, es necesario realizar una investigación sobre la especiación de estos tres metales estudiados. Del mismo modo realizar un plan de monitoreo del agua de río, riego y de consumo humano para conocer la calidad en cuanto a la concentración de metales pesados por el grado de toxicidad que éstos presentan para la salud pública.

6.7 Anexo

Tabla A.1 Sitios de muestreo en suelos de la península de Atasta.

Sitio No.	Lugar	Coordenadas	
		(Latitud N	– Longitud O)
1	Nuevo Progreso	18°37'32"	92°19'11"
2	Planta de Recompresión de Gas I	18°38'15"	92°9'43"
3	Nuevo Progreso	18°37'18"	92°16'45"
4	Planta de Recompresión de Gas II	18°38'15"	92°9'44"
5	San Antonio Cárdenas (Laguna Pom).	18°36'30"	92°13'8"
6	Atasta	18°37'9"	92°6'9"
7	Atasta (Laguna Atasta)	18°37'8"	92°6'9"
8	San Antonio Cárdenas (Casa)	18°37'2"	92°13'45"
9	San Antonio Cárdenas (patio GIPSA).	18°37'8"	92°16'38"
10	Atasta (Vereda al atracadero)	18°36'39"	92°9'40"

6.8 Referencias

- Aguilar Ucan, C. A. (2018). Cuantificación de los niveles de metales pesados en el río palizada. Universidad Autónoma de Campeche. Pág. 214
- ATSDR (2005). Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Reseña toxicológica del níquel. Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios humanos de EE. UU. Servicio de salud pública.
- ATSDR (2007). Agency for toxic substances & disease registry. Reseña toxicológica del Cadmio. Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios humanos de EE. UU. Pág.8
- Bucio, J.L (2008).Contaminacion de la bahia de Chetumal por metales pesados, materia organica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales. *Caos Conciencia*.5-11.
- Bundschuh, J (2010). Possible treatments for arsenic removal in latin american waters for human consumption. *Environmental Pollution*. 158. 105-1118
- Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG), 2002, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines (en línea): Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- Carreño, C. (2011). Metal Content and Elemental Composition of Particles in Cohesive Sediments of the Lerma river, México. *Internacional de contaminación Ambiental*. 181-190.
- Castañeda, M. R. (2011). Metales Pesados en Sedimento el Sistema Lagunar Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco. *SETAC*.
- Espinoza,Luisa Fernanda (2008). Distribution of heavy metals (Pb,Cd, and Zn) in sediment profiles. Associated to Rhizophora mangle in sevilla River-Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Bol.Invest.Cost*. 37 (1). 95-110
- Garcia, Roberto. (2019). La materia orgánica disuelta en los ambientes dulceacuicolas. Efectos en los ecosistemas, transferencia y transformación.18. 1-7
- Lozada-Zarate, J. (2007). Determinación de la concentración de metales en Cyprinus Carpio, Linnaeus 1758 (carpa común) de la Laguna de Metztlán, Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México, 1-63

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Establece criterios para la caracterización de concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico,bario,berilio,cadmio,cromo hexavalente,mercurio,niquel,plata,plomo,selenio,talio,vanadio. (*Diario Oficial de la Federación*). Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. México.

Olivares, V., Valverde, L., Quiros, R., Garcia, N., Muñoz, M.Navarro Alarcón y Cabrera, C. (2015). Niquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: Una revisión. *CyTa-Journal of food*. 13(1).87-101

Roca - Fernández, (2001). Compost de residuos sólidos urbanos: fertilizantes y enmienda.Centro de Investigaciones de Mabegondo. INGACAL. Xunta de Galicia.Agricultura, p. 608-6

Ruiz-Marin Alejandro.(2014). Diagnóstico de la contaminación por metales pesados en sedimento superficial de la laguna de términos, Campeche: una aproximación Estadística. *AIDIS*. 7. 95-104.

Sastre - Conde Isabel, Maria & C,RC & Lorenzo, ME & P, MY & Ruiz Marin, A. & González - O, J. (2003). Heavy metal distribution in the sediments of the fluvial - lagoon system Pom - Atasta, Campeche (México). *Remediation of contaminated sediments*.1-10.