

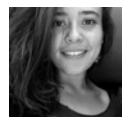
Caracterización físico-química del suelo del botadero de Portoviejo y análisis de la distribución espacial de cromo (VI), níquel, bromo y hierro

Physical-chemical characterization of the land of the Portoviejo dump and analysis of the spatial distribution of chromium (VI), nickel, bromine and iron



Viera Torres Mauricio

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: rmviera@espe.edu.ec



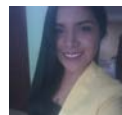
Merizalde Mora María José

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: mjmerizalde@espe.edu.ec



Jami Aymacaña Lisseth

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: jljami@espe.edu.ec



Mora Paspuezan María Belén

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: memora6@espe.edu.ec



Carrera Villacrés David

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: dvcarrera@espe.edu.ec



Gutiérrez Cevallos Oscar

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: oskredu89@gmail.com



Masabanda Caisaguano Marco

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: mvmasabanda1@espe.edu.ec



Delgado Rodríguez Vicente

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: vadelgado@espe.edu.ec

Resumen

El botadero de basura, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo se encuentra en etapa de cierre técnico y en éste existen desechos de origen doméstico e industrial. Estos desechos pueden generar contaminación por los diversos elementos químicos tóxicos que contienen. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los suelos mediante parámetros físicos y químicos como pH, humedad, conductividad eléctrica, Residuo Seco Evaporado (RSE), Residuo Seco Calcinado (RSC), densidad real y aparente y medir Cr (VI), Ni, Br y Fe para proponer una zonificación de posible propagación de los contaminantes, con relación a las curvas de lixiviación. Se procedió a analizar varias técnicas de muestreo, en cuanto a factibilidad y aplicabilidad a la zona de estudio, por ello se empleó metodología propuesta por la Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana, la Secretaría de Medio Ambiente de México y la propuesta basada en la publicación de Investigación de la Contaminación de Suelos del Gobierno Vasco de España, se optó por esta última, que dio como resultado un total de 20 muestras en la zona de estudio. La caracterización fisicoquímica del suelo permitió obtener información de sus propiedades, las mismas que sirvieron como insumo para la elaboración de mapas de distribución espacial, con la finalidad de aplicar algebra de mapas, en función de la variación de estas propiedades, para la determinación de dos zonas, donde, se identificó mayor y menor vulnerabilidad de contaminación, en cuanto a la movilidad de estos elementos. Los valores mostrados por el pH y conductividad eléctrica determinaron que son suelos que se comportan de manera neutral y ligeramente alcalino, y suelos significativamente salinos. El porcentaje de humedad obtenido en cada uno de los extractos determinó suelos franco arenosos. Como resultado se tuvo que la mayor concentración de los elementos medidos está orientada al suroccidente del botadero, y tras analizar la relación entre la zonificación y lixiviación, se pudo determinar cómo se encuentra la movilidad de estos elementos en donde se debe prestar especial atención a la zona vulnerable que presenta curvas de lixiviación crecientes.

Palabras clave: botadero; cromo; níquel; bromo; hierro; distribución; zonificación; lixiviación.



Abstract

The open dump in the city of Portoviejo is in the technical closure stage and there are domestic and industrial waste. These wastes can generate contamination by the various toxic chemical elements they contain. The objective of this work was to characterize soils through physical and chemical parameters such as pH, humidity, electrical conductivity, Dry Evaporated Residue (RSE), Calcined Dry Residue (RSC), real and apparent density and measure Cr (VI), Ni, Br and Fe for proposing a zoning of possible spread of contaminants, in relation to leaching curves. We proceeded to analyse several sampling techniques, in terms of feasibility and applicability to the study area, so was used methodology proposed by the Ecuadorian Environmental Technical Standard, the Secretariat of the Environment of Mexico and the proposal based on the publication of Research of the Soil Pollution of the Basque Government of Spain, it was decided to use the last one, which resulted in a total of 20 samples in the study area. The physical-chemical characterization of the soil allowed to obtain information about its properties, which served as input for the elaboration of spatial distribution maps, with the purpose of applying algebra of maps, depending on the variation of these properties, for the determination of two zones, where, greater and less vulnerability of pollution was identified in terms of the mobility of these elements. The values shown by the pH and electrical conductivity, determined that they are soils that behave neutrally and slightly alkaline, and significantly saline soils. The percentage of moisture obtained in each of the extracts determined sandy loam soils. As a result, the highest concentration of the measured elements was oriented to the southwest of the dump, and after analysing the relationship between zoning and leaching, it was possible to determine how the mobility of these elements is, where special attention should be paid to the vulnerable zone that presents increasing leaching curves.

Keywords: *dump; chromium; nickel; bromine; iron; distribution; zoning; leaching*

Introducción

En la ciudad de Portoviejo, vía a El Rodeo, se encuentra ubicado un botadero de basura a cielo abierto, el mismo, comprende un área aproximada de 16 hectáreas y constituye uno de los mayores problemas ambientales de todo el sitio, ya que es fuente de contaminación de aire, agua y suelo (Peñarrieta, 2004). Debido al impacto ambiental que se ha generado tras 40 años de funcionamiento, se encuentra en el proceso de cierre técnico (GAD Portoviejo, 2017).

Mediante el análisis de parámetros como pH, conductividad eléctrica, humedad, contenido de materia orgánica del suelo, se puede realizar la caracterización del mismo; a través del pH se puede mostrar la estabilidad de los compuestos metálicos presentes en el suelo y, de cierta forma, predecir el comportamiento de los metales pesados y otros elementos, frente a un cambio de condiciones ambientales (Sanchez et al., 2017), la conductividad eléctrica es un potencial estimador de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo (Simón et al., 2013), el conocimiento del contenido de agua en el suelo es fundamental para explicar una serie de procesos de diversa índole tales como: balances de agua, tasas de, infiltración, generación de escorrentía, riesgos hidrológicos, crecimiento y desarrollo de cultivos, estabilidad de formaciones forestales, modelización hidrológica (Fernández & Ceballos, 2012), la materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades del

suelo, al formar agregados y dar estabilidad estructural, lo que le permite unirse a las arcillas y formar el complejo de cambio, lo que favorece la penetración del agua y su retención; el resultado, es la disminución de la erosión y el beneficio del intercambio gaseoso, además de que actúa como tampón del suelo (Julca et al., 2006).

Los metales pesados están presentes, naturalmente, en los suelos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo. En general se dice que estos contaminantes no son biodegradables y por lo tanto pueden bioacumularse produciendo efectos tóxicos progresivos tanto en el ser humano como en la cadena alimenticia (Miranda et al., 2008). Estos interactúan con las arcillas, los oxi-hidróxidos, la materia orgánica, carbonatos, sulfatos y demás, con lo que se presentan procesos de adsorción, sustitución isomórfica, quelación, precipitación, oxidación, reducción, etc. que dependen de las propiedades particulares del suelo, pueden ser benéficas o dañinos o no presentar efecto (Zúñiga, 1999).

Según referencias de los perfiles de suelos desarrollados por el Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE) en el año 2012, las características presentadas en el suelo de la zona de estudio muestran que el tipo de suelo es arcilloso, con un pH de 7.5, y una concentración nula de Fe, las cuales fueron tomadas como características de referencia para afirmar que la contaminación es consecuencia del botadero.

Existen varios elementos tóxicos para el recurso suelo, entre los más relevantes se encuentra el Cromo (VI), Níquel, Bromo y Hierro, debido a su acción contaminante, los cuales, probablemente son muy comunes de encontrar en un botadero a cielo abierto (CONAM; CEPIS; OPS, 2004). Así, es probable que los elementos nocivos estén migrando desde el suelo hacia la población localizada en la ciudad de Portoviejo.

El objetivo de esta investigación fue: caracterizar física y químicamente el suelo del botadero de basura a cielo abierto, mediante el análisis de Cr (VI), Ni, Br y Fe, así como también, obtener una zonificación que indique la posible migración de los contaminantes hacia los centros poblados, por medio de la determinación de la concentración máxima de muestras de suelos representativas del sector, a través, de la relación de la zonificación con las curvas de lixiviación.

tricos, la calidad del agua y con el diseño analítico, deben permitir el logro de los objetivos definidos, en relación a la caracterización y la dispersión de la contaminación con un máximo de fiabilidad, rapidez y un mínimo de esfuerzo y costos (IHOBE, 1995). El número de muestras, según la Normativa Española (IHOBE, 1995), que establece mediante la ecuación (1).

$$n=5+A \quad (1)$$

En donde **n** significa el número total de muestras a obtener y **A** al número de hectáreas totales del área de estudio, lo cual dio como resultado un total de 20 muestras individuales. La toma de dichas muestras se las realizó a una profundidad de 10 como se detalla en (Volke, 2005) y (IHOBE, 1995).

El muestreo se lo realizó en el mes de diciembre del 2017 en condiciones de baja precipitación, en la cual



Figura 1. Área de estudio

Para la toma de las muestras se procedió a evaluar la aplicación de distintas metodologías de muestreo. De las cuales, la más factible fue la propuesta basada en la publicación de Investigación de la Contaminación de Suelos del Gobierno Vasco de España (IHOBE, 1995), se obtuvo mejores resultados, ya que ésta se centra en los principios que sustentan el diseño de muestreo que, en conjunto con el diseño de la red de control de niveles piezométricos,

la estación meteorológica de Portoviejo registró un valor medio mensual de 25mm de precipitación (INAMHI, 2017).

De las muestras se obtuvieron extractos acuosos con proporción 1:1, 1:5, 1:10 (Carrera, et al., 2014). En la Tabla 1 se muestran los métodos y referencias utilizados para la determinación de los parámetros físicos-químicos y medición de los elementos (Cr (VI), Ni, Br, Fe).



Tabla 1. Métodos empleados

Parámetro/ Elemento	Método/ Referencia
pH	pH-METRO HANNA / APHA-4500 HB
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro HANNA / APHA-2510.B
Densidad real	Picnómetro / NOM-021-RECNAT-2000
Densidad aparente	Probeta / (Gandoy, 1991)
Residuo Seco Evaporado	Gravimetría mediante estufa / NOM-AA-341981
Residuo Seco Calcinado	Gravimetría mediante mufla / NOM-AA-341981
Humedad	Gravimetría mediante estufa / NOM-021-AS5
Fe	Espectrofotómetro HANNA / (HI83099, Instruction Manual COD and Multiparameter Bench Photometer, 2018)
Ni	
Cr	
Br	

Elaboración de la distribución espacial

El área de influencia, según (De la Torre, 2013), toma en cuenta distintas variables que establece la legislación ambiental para la ubicación de un sitio de disposición final de residuos. Esta referencia de estudio se siguió como guía para la elaboración del área de influencia del botadero, por lo tanto, se tomó el centroide del área de estudio para realizar un buffer de 500 m.

Para la elaboración de la distribución espacial, se realizó una interpolación en el software ArcGIS 9.3, de cada parámetro fisicoquímico y de las concentraciones de Cr (VI), Ni, Br, Fe, medidos de las muestras del botadero. La interpolación se realizó con Kriging Ordinario, debido a que presenta mejor grado de estimación para variables como el pH y demás parámetros (Henríquez, et al., 2013).

Dichas distribuciones espaciales se utilizaron como insumos para la elaboración del álgebra de mapas. Para ello se determinó realizar una zonificación en cuanto a sitios con mayor probabilidad de presencia de contaminantes, de manera que se convirtió los niveles digitales a un valor de 1, de las distribuciones espaciales obtenidas con las siguientes consideraciones: pH menor a 7.5, conductividad eléctrica mayor a 2 dS m⁻¹, y, una porosidad menor a 50 %. Y, por otro lado, el valor de 0 al nivel digital que no cumpla con las especificaciones, que representa la zona con menor probabilidad de encontrar los elementos. Las operaciones realizadas consistieron en

una multiplicación de las distribuciones espaciales de los parámetros fisicoquímicos con la nueva asignación de valores.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos

Potencial hidrógeno (pH)

Se trata de la unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución (Arellano, et al., 2016). En el caso de los suelos del botadero, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo, los valores de las 20 muestras tanto de los extractos 1:1, 1:5 y 1:10 variaron entre un rango de 6 – 7.5 unidades de pH, lo que indica que los suelos se comportan mayormente de manera neutral y ligeramente alcalino (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Conductividad eléctrica

La concentración total de sales solubles en las aguas, con fines de diagnóstico y clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica. En el caso de los suelos del botadero a cielo abierto de la ciudad de Portoviejo varían en un rango 0.2-4.5 dS m⁻¹ por lo cual según la norma mexicana NOM-021 se establece que se trata de suelo, desde salinidad insignificante a moderada (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Residuo seco evaporado (RSE) y residuo seco calcinado (RSC)

Ambos indicadores, RSE y RSC representan la concentración de sales en el suelo (Perez, 2013). En suelos salinos, el contenido de sal, en los horizontes superiores va de entre 0,5% y 1% y se eleva hasta 2%, en caso de presentar estos valores, las sales predominantes en la composición del suelo son bicarbonato, cloruro y sulfato de sodio (Kovda, 1973). Los valores de RSC y RSE del suelo del botadero de Portoviejo no están entre los valores establecidos, para ser considerado como un suelo salino.

Densidad real, densidad aparente

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002), se establece que los suelos que se hallan en una un rango de densidad menor a 1 g cm⁻³ son denominados orgánicos y volcánicos, entre 1 a 1.19 g cm⁻³ como arcillosos, de 1,2 a 1.32 g cm⁻³ como francosos y mayores a 1.32 g cm⁻³ como arenosos. Las muestras presentan un comportamiento variado entre las diferentes clasificaciones establecidas, es decir, se han encontrado suelos desde orgánicos y volcánicos hasta suelos arenosos.

Humedad

La humedad en estos suelos varía en un porcentaje entre 8% a 22%, por lo cual fueron clasificados como suelos arenosos a franco arenosos (Bosch, 2014). El agua que circula por el suelo, al estar en contacto con elementos potencialmente tóxicos, bajaría el pH de ésta, haciendo que estos sean liberados. Por ello la humedad cumple un papel importante en estudios de contaminación de este recurso; mientras mayor sea la humedad existirá mayor movilidad de los elementos que posee el suelo (Sanchez et al., 2017).

Elementos medidos

Cromo

El contenido natural de Cr (III) en suelos superficiales varía ampliamente, a pH bajo la oxidación de

cromo III a cromo VI es muy probable, a este último también se lo puede encontrar residuales de la industria metalúrgica, de acabados metálicos, materiales refractarios y de la producción o aplicación de pigmentos, debido a su uso como materia prima, en cada uno de estos procesos industriales (Sotelo, 2012).

Las concentraciones altas de Cr-VI encontrados en el suelo del botadero, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo se deben a la contaminación por colorantes, pinturas, desechos orgánicos y de agroindustria, plástico, vidrio, chatarra, entre otros, los cuales comúnmente se pueden encontrar en un botadero (Sotelo, 2012); (Peñarrieta, 2004).

Los límites permisibles que presenta (TULSMA Libro VI Anexo 2 , 2009), en criterios de calidad de suelo, establecen un valor de 2.5 mg/kg. La distribución espacial del Cr (VI) se puede apreciar en la Fig. 2.

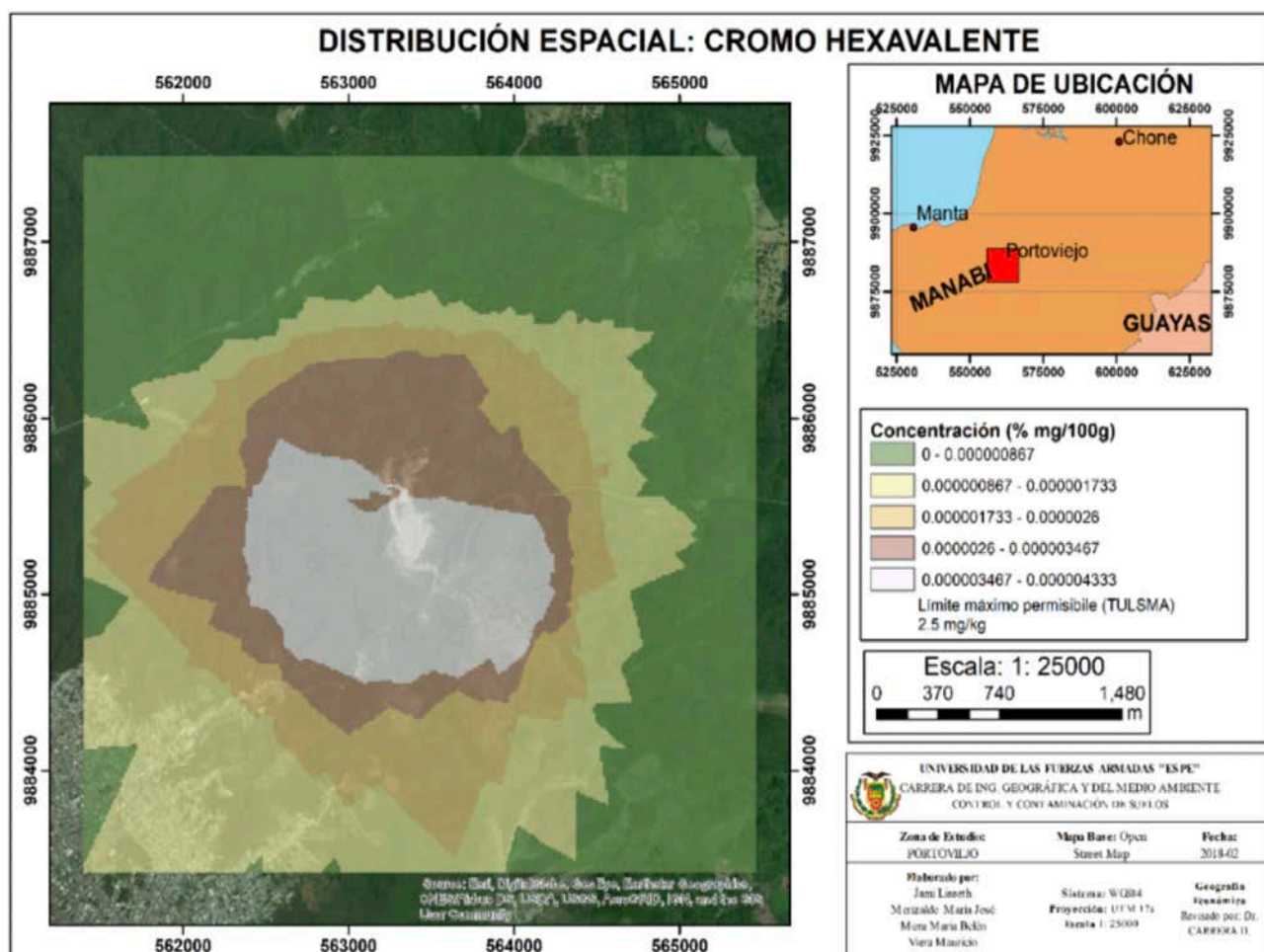


Figura 2. Distribución espacial del Cromo (VI)

Níquel

Las concentraciones normales de níquel (Ni) en los suelos, normalmente, varía de 0,0089 a 0,89 (g/l), La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse (Muñiz & Rodríguez, 2015).

Los límites permisibles que presenta (TULSMA Libro VI Anexo 2, 2009), en criterios de calidad de suelo, establecen un valor de 20 mg/kg. Las muestras presentan un valor máximo de 3250 mg/kg que dan a conocer que sobrepasaron los límites permisibles en calidad de suelo. La distribución espacial del níquel se puede apreciar en la Fig.3.

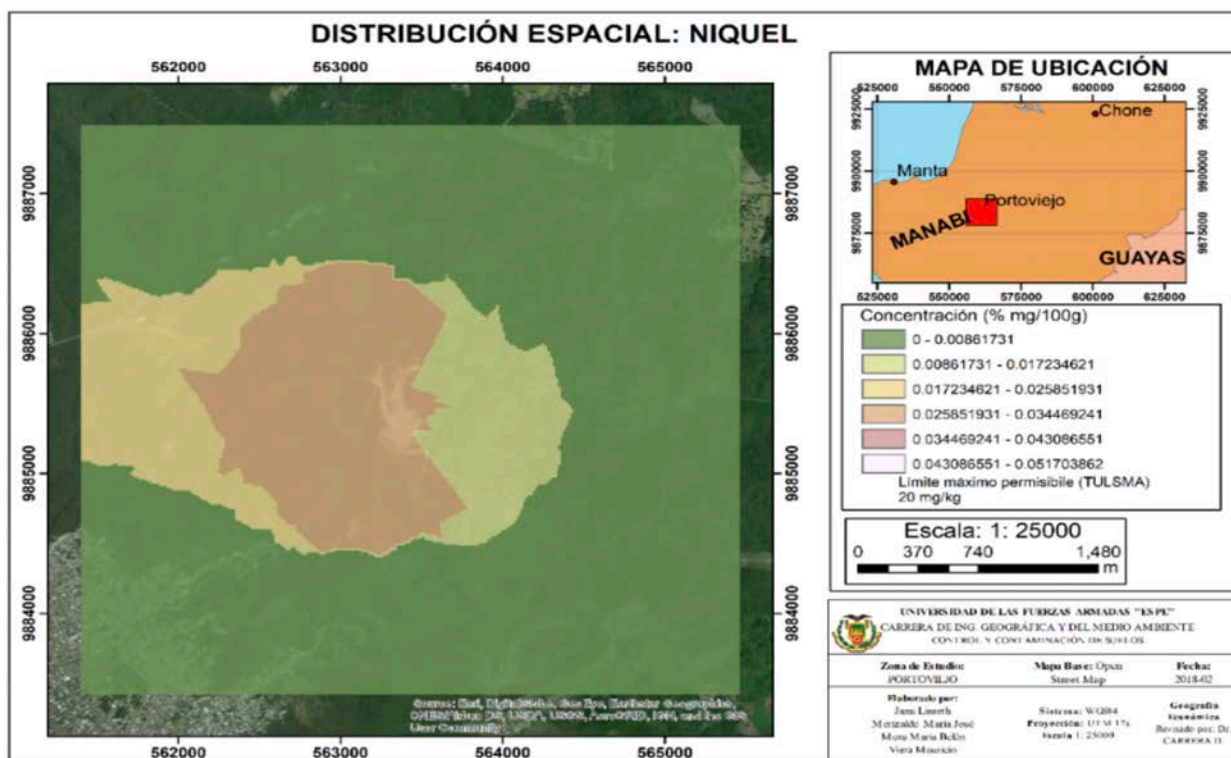


Figura 3. Distribución espacial del Níquel

Hierro

La toxicidad de hierro (Fe) es causada fundamentalmente por la elevada absorción de Fe, desde la solu-

ción del suelo, donde este metal se encuentra en altas concentraciones. La distribución espacial de la concentración del Hierro se puede observar en la Figura. 4.

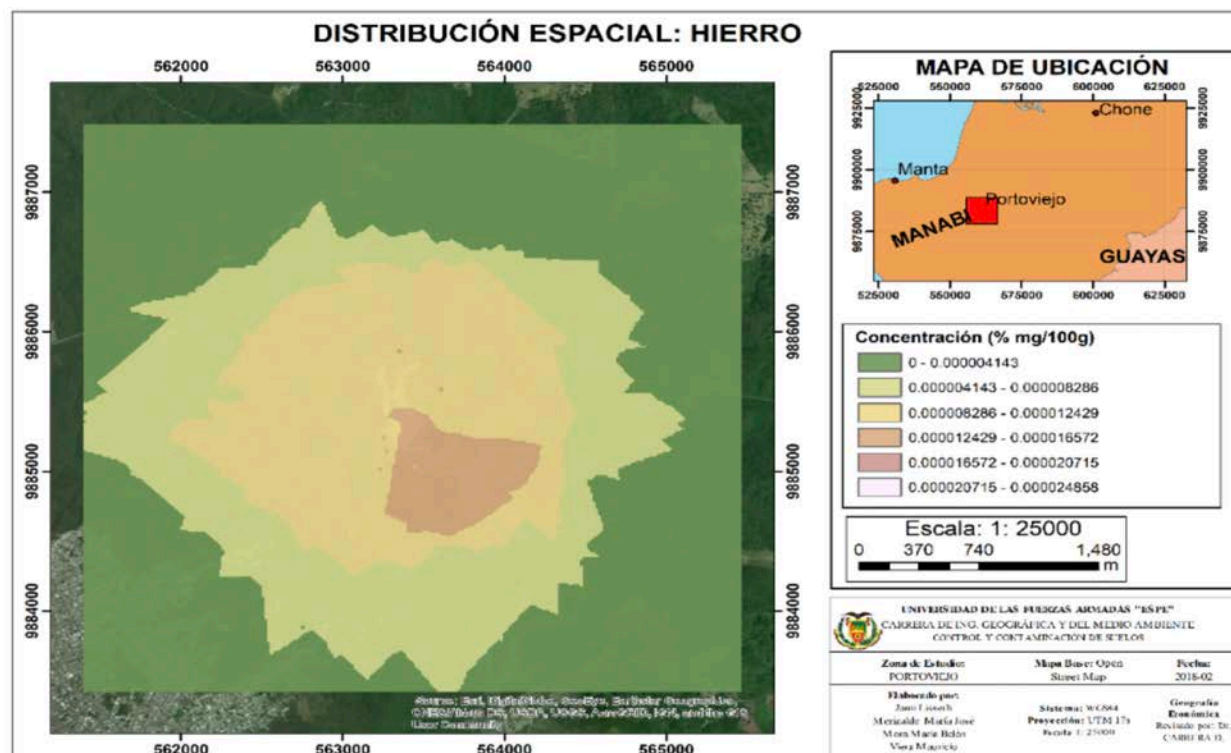


Figura 4. Distribución espacial del Hierro

Bromo

El bromo (Br) puede ser incluido en el suelo por medio de plaguicidas y de productos utilizados en la agricultura. La cantidad normal de Br en los suelos es de 50 g/m² de suelo (Vallejo et al., 2003), por lo cual se establece que constituye un contaminante menor en el suelo. La distribución espacial del Bromo se puede observar en la Figura.5.

Curvas de lixiviación

Se denomina lixiviación al proceso de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables, según indica el Glosario de Conservación de Suelos y Aguas del (Soil Conservation Society of America, 1963). Este proceso puede provocar que algunas capas de suelo pierdan sus compuestos vitales y, a su vez, generar toxicidad (Arellano, et al., 2016). (Carrera, 2011) menciona que las sales solubles en los suelos pueden ser determinadas o estimadas a partir de extractos acuosos de muestras de suelo, es por ello, que en este trabajo se realizó dichos extractos (1:1, 1:5, 1:10).

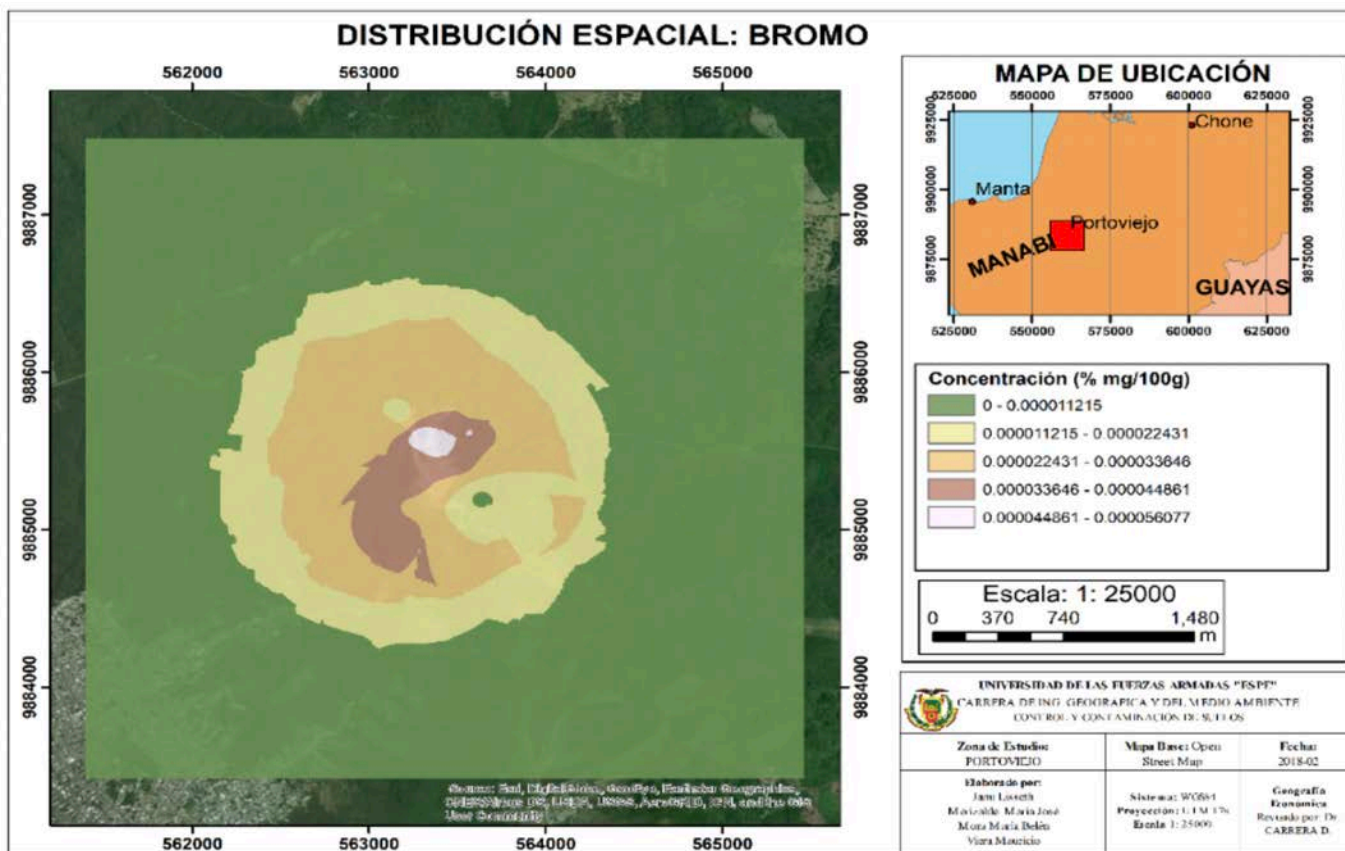


Figura 5. Distribución espacial del Bromo

Zonificación

Tras realizar el álgebra de mapas se obtuvo como resultado dos zonas (Fig. 6). En la primera se halla la mayor vulnerabilidad de contaminación contiene las muestras: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 15, 16, 17 y 18. En la segunda zona, se encuentra la menor vulnerabilidad de contaminación, en la que quedaron el resto de las muestras.

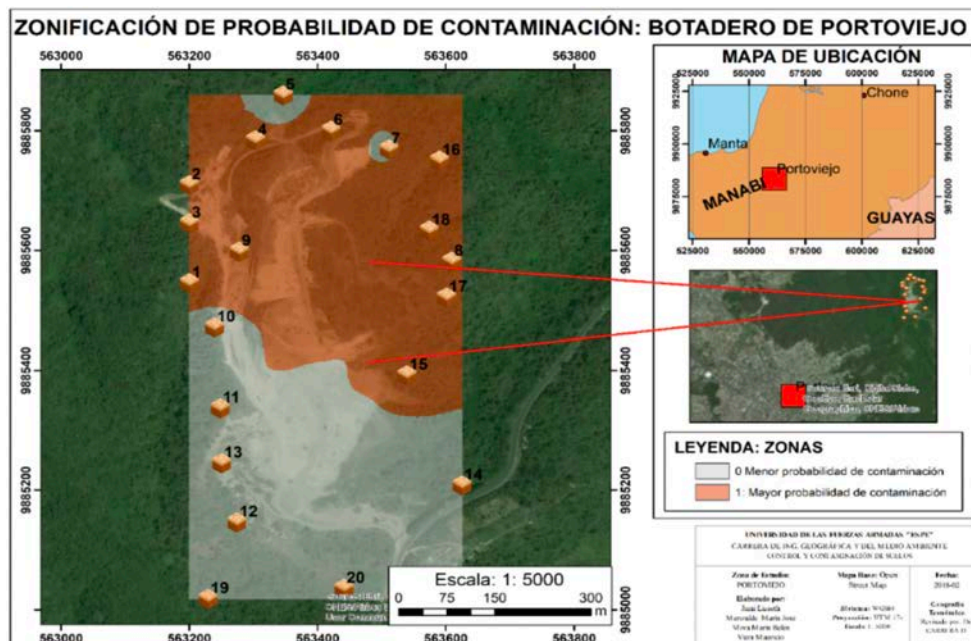


Figura 6. Zonificación de probabilidad obtenida por el álgebra de mapas

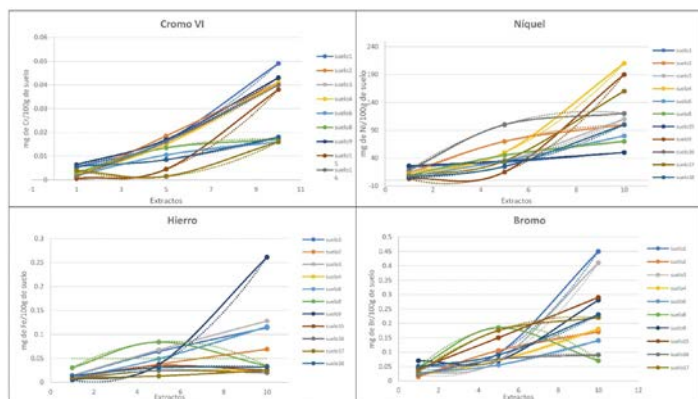


Figura 7. Curvas de lixiviación de los elementos en la zona 1

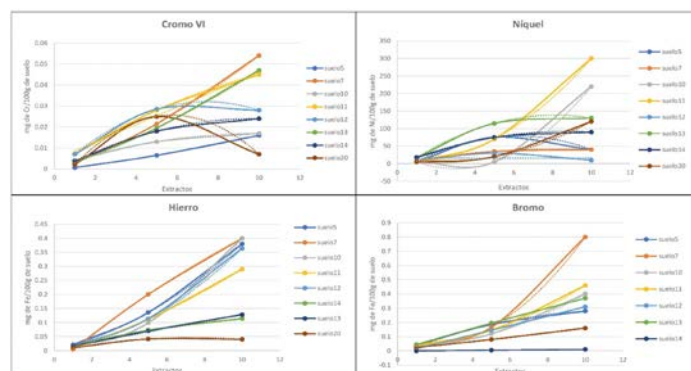


Figura 8. Curvas de lixiviación de los elementos en la zona 0

Discusión

Cromo (VI)

La distribución espacial obtenida para el Cr (VI) muestra que la presencia de concentraciones más alta de este metal se encuentra en la parte suroccidental. Las curvas de lixiviación del Cr (VI) presentan un comportamiento creciente, especialmente las muestras de suelo ubicadas en el sector occidental del botadero. En promedio, la concentración de Cr (VI) es la que en menor valores, presenta con respecto a los demás metales; pero su mayor concentración, en la parte suroccidental puede deberse al pH y potenciales de óxido reducción, como menciona (Sotelo, 2012) en el estudio del Cr en distintas soluciones del suelo, además que indica que la reducción de Cr (VI) a Cr (III) es el proceso dominante en el suelo, en la actualidad, existen estudios que demuestran la probabilidad que existe de que el Cr (III) se oxide a especies de Cr (VI) en el suelo, aumentando su movilidad y generando, verdaderamente, un riesgo ambiental y sanitario (Sotelo, 2012).

Níquel

El porcentaje de concentración más alto de Ni, de acuerdo con su distribución espacial, se ubica al oeste del botadero, y las curvas de lixiviación para las muestras ubicadas en esta dirección, son crecientes; se entiende que la lixiviación del níquel a través del suelo favorece al aumento de este elemento (Sotelo, 2012).

Bromo

El bromo muestra en su distribución espacial (Fig. 5) el mayor porcentaje de concentración en la parte suroccidental del botadero, es decir que las muestras de suelo

ubicadas en este sector tienen altas concentración con respecto a las otras, y se espera una mayor persistencia, además que sus curvas presentan un comportamiento creciente. Es decir que el proceso de lixiviación aumenta la concentración de este elemento.

Hierro

Para el Fe, la distribución espacial muestra una presencia casi homogénea en toda la zona que rodea el botadero, es decir que sus concentraciones no varían significativamente en las diferentes muestras de suelo analizadas. Las curvas de lixiviación para este elemento muestran comportamientos distintos, en promedio no significativamente creciente, por lo que la lixiviación, ayuda a la disminución de la concentración de este metal en presencia del agua.

De acuerdo con el estudio realizado por (GUO et al, 2013), menciona que la capacidad de lixiviación de ciertos metales, entre ellos el Fe, Zn, Cu y Mn depende del pH y del tiempo de contacto con el fluido, y la duración de desintegración de estos metales está estrechamente relacionado con el pH inicial y como resultado obtiene que valores de pH cercanos a 2, muestran la capacidad máxima de los metales analizados. Esto corrobora lo obtenido en este trabajo, con el modelo de Fe, se observa que las áreas donde existe una mayor dispersión (sector suroriental del botadero) están acompañadas de pH ácidos, según indica el comportamiento del pH de las muestras ubicadas en esta zona.

Relación curvas de lixiviación y zonificación

La zona correspondiente a la menor probabilidad de contaminación, por estos elementos, se debe a que la condición que se planteó de los parámetros: pH, conductividad eléctrica y porosidad sea favorable para inmovilización de estos, las muestras de suelos ubicados dentro de esta zona presentan valores de los parámetros mencionados, dentro de las condiciones establecidas. En contraste, la zona que presenta las condiciones en donde los parámetros favorecen a la movilidad de los contaminantes, los suelos poseen una mayor probabilidad de verse contaminados debido a que estos podrían migrar hacia posibles capas freáticas que se puedan encontrar en esta zona.

Pagnanelli et al., (2004) menciona que los metales pesados pueden quedar retenidos en el suelo de distintas maneras, esto correspondería para el Cr (VI), Ni y Fe, de forma disuelta en la fase acuosa del mismo, también cuando ocupan sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo o precipitados como sólidos.

También Novotny (1995), sostiene que desde la caracterización fisicoquímica del suelo, se sabe que los metales precipitan, como resultado de cambios en el pH,

oxidación y otros cambios de su composición química.

Las curvas de lixiviación para el Cr (VI) de las muestras que se encuentran en la zona de menor probabilidad de contaminación antes mencionada, presentan en promedio un crecimiento menor y de forma asintótica, en comparación de las curvas de las muestras de la zona opuesta. Es decir, existe un aumento más considerable de la concentración de este metal a medida que varía los extractos. Por lo tanto, el proceso de lixiviación del Cr (VI) en los suelos en la zona de mayor probabilidad de contaminación, ayuda al aumento de la concentración de este elemento.

En cuanto al Ni, la mayoría de sus curvas de las muestras ubicadas dentro de la zona vulnerable, presentan un comportamiento creciente en relación de la zona menos propensa a problemas de contaminación, donde solo tres de ellas muestran una forma asintótica, es decir, a partir de ella se puede estimar el total de este elemento, mientras que las demás no es posible determinar su umbral. Es por ello que la lixiviación de este metal, en los suelos de la zona vulnerable, también favorece al incremento de la concentración como el caso del Cr (VI).

Para el Br, sus curvas de lixiviación dentro de la zona vulnerable a la contaminación, presentan en mayor parte un carácter medianamente creciente, mientras que existe una de notable forma asintótica y, esto para ese suelo resulta beneficiosa la lixiviación debido a que, si la zona es vulnerable, este proceso ayudará a la disminución de la concentración de Br en dicha zona. Mientras que la lixiviación para la zona menos vulnerable, en cambio no ayudará a la disminución de la concentración de este elemento, ya que sus curvas son netamente crecientes.

Por último, el Fe representa un contaminante potencial, cuando sus concentraciones son extremadamente elevadas. Sus curvas de lixiviación en la zona con menos probabilidad de contaminación, tienen un comportamiento generalmente creciente, lo que da a conocer que no habrá disminución de la concentración, como se puede apreciar en la distribución espacial de este elemento; la zona presenta mayor concentración, debido a que el hierro se encuentra en abundancia en la corteza terrestre (Linsay & Norvell, 1978), mientras que para la zona con mayor vulnerabilidad las curvas tienen distintos comportamientos, que presentan un ligero crecimiento, así como muestras con curvas asintóticas, lo que implica la posible disminución del elemento.

Algunos estudios sostienen que la movilidad, de los metales pesados y otros elementos no metales, es de gran importancia en cuanto a su disponibilidad y potencial para lixivarse de los perfiles de suelo a los niveles freáticos, y esto difiere de sí su origen es natu-

ral o antropogénico (Karczewska, 1996); (MaY, 1998); (Wilcke et al., 1998).

Banat (2005), menciona que para definir el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales, es necesario evaluar la disponibilidad y movilidad de los mismos.

Conclusiones

El estado actual de los suelos del botadero se pudo analizar con la caracterización físico/química. Los valores de pH medidos (6-7.5) concuerdan con las características obtenidas en los demás parámetros, este indica ser neutro y ligeramente básico, lo cual se asegura mediante las características mostradas por RSE y RSC ya que los valores son menores a el rango de (0.5 % - 1 %) para suelos salinos, como también por la conductividad, ya que ésta, al indicar la concentración total de sales solubles se determinó que es de salinidad insignificante. Se observa que en el extracto 1:1 el pH indica, en su mayoría, valores que tienden a ser básicos a diferencia de los extractos 1:5 y 1:10 que tienden, más a ser neutros. La conductividad eléctrica en los extractos 1:1 tiende a ser alta dando valores mayores a 1. La humedad en estos suelos varía en un porcentaje entre 8% a 22%, por lo cual fueron clasificados como suelos arenosos a franco arenosos característica que los hace presentar una propensión a la contaminación por Cr (VI), Ni y Fe. En cuanto a la densidad y de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMAR-NAT-2000, 2002), se obtuvo valores que establece que se trata de suelos francos, arcillosos y arenosos, sin presentar un único comportamiento, sino variante a lo largo del botadero.

La distribución espacial de los elementos medidos, muestra que la mayor presencia de estos está ubicada en la parte suroccidental, y mediante un contraste de dichas distribuciones y las curvas de lixiviación se ha podido estimar como los contaminantes podrían desplazarse espacialmente, para lo cual se debe tener en cuenta un estudio para analizar la situación de los suelos, mediante una caracterización físico-química en la zona occidental del botadero, que permita contrastar los resultados de este trabajo.

De acuerdo con el objetivo de este trabajo, la zonificación, en función de los parámetros pH, conductividad eléctrica y porosidad se contrastó con las curvas de lixiviación de Cr (VI), Ni, Br y Fe para comprender la movilidad de estos elementos y su disponibilidad en función de los diferentes extractos. Los estudios señalan que es necesario analizar la movilidad para evitar problemas de toxicidad, por lo que se recomienda plantear una toma de muestras de suelos en zonas más alejadas del botadero,



con la finalidad de analizar la movilidad también de estos y relacionarlos a este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Fernández, G. (2000). Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fé - Argentina). *Ambiente Ecológico*, 72. Obtenido de <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-aldoguzmanramos.html>
- Fernández, J., & Cevallos, A. (2012). Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo.
- GAD Portoviejo. (Julio de 2017). Procedimiento para la operación, control y mantenimiento de la celda emergente para la disposición final de desechos comunes.
- Gandoy. (1991). Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, 173.
- GUO et al. (Octubre de 2013). Leaching of heavy metals from Dexing copper mine tailings pond. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(10), 3068-3075. doi:10.1016/S1003-6326(13)62835-6
- Henríquez, et al. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis kriging y su validación. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 71-82.
- HI83099, Instruction Manual COD and Multiparameter Bench Photometer. (2018).
- IHOBE. (1995). Manual práctico para la investigación de la contaminación del suelo. Gobierno Vasco, España.
- INAMHI. (2017). Boletín Agrometeorológica. (12), 3. f
- Julca et al. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *SciELO*, 49-61.
- Karczewska, A. (1996). Metal species distribution in top and subsoil in an area affected by copper smelter emissions. *Applied Geochemistry*, 11, 35-42.
- Kovda, V. (1973). Quality of irrigation water. In: *Irrigation, drainage and salinity. An international source book*. Chapter 7. FAO/UNESCO. Hutchinson.
- Linsay, W., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil zinc, iron, manganese and copper. *J. Am. Sci. Soil*, 421-428. Recuperado el 02 de 2018
- MaY, U. (1998). Transformations of heavy metal added to soil-application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma*, 84, 157-168.
- Miranda et al. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 180-191.
- Muñiz, O., & Rodríguez, M. (2015). El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Nickel in soils and plants of Cuba* (pág. 2). La Habana- Cuba: EMBRAPA.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (2002). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 40-62.
- Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. *Heavy Metals: problems and solutions*.
- Pagnanelli, et al. (2004). Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series. *Environmental Pollution*, 132(2), 189-201.
- Peñarrieta, S. (2004). Análisis de la política ambiental implementada por la ilustre municipalidad del cantón Portoviejo en el período 2000 - 2004. Quito.
- Pérez, D. (2013). Composición y caracterización, química del suelo: indicadores de salinidad y sodicidad. (pág. 2). Jalisco - México: NUS099.
- Sánchez et al. (2017). Caracterización Físico Química y caracterización de retención de plomo en los suelos del campo experimental Yachay. *FIGEMPA: investigación y desarrollo*, 1(8), 56-60.
- Simón et al. (2013). *Ciencia del suelo. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes*. Buenos Aires.
- Soil Conservation Society of America. (1963). *Glosario de conservación de suelos y aguas*. México: Centro regional de ayuda técnica.
- Sotelo, A. (2012). digital. Especiación de cromo en la solución del suelo de tres suelos enmendados con biosólidos bajo diferentes condiciones oxidoreductoras, (págs. 22-23). Medellín.
- TULSMA Libro VI Anexo 2. (2009). Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Quito.
- Vallejo et al. (2003). Efectos de la utilización del Bromuro de Metilo en agricultura.
- Volke, T. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides. México DF, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Wilcke et al. (1998). Aluminum and heavy metal partitioning in A horizons of soils in Costa Rican coffee plantations. *Soil Sci.*, 163, 463-471.
- Zúñiga, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.