

# DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO E ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y NÍQUEL EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL SECTOR SAN ALFONSO EN MACHACHI

GEOACCUMULATION INDEX AND ENRICHMENT FACTOR FOR LEAD, CADMIUM AND NICKEL IN AGRICULTURAL SOILS OF SAN ALFONSO AREA IN MACHACHI

José Quevedo C.<sup>1</sup> & Lorena Meneses O.<sup>1</sup>

**Palabras claves:** índices de geoacumulación, factores de enriquecimiento, metales pesados, chatarra.

**Keywords:** geoaccumulation index, enrichment factor, heavy metals, scrap.

## RESUMEN

Se determinaron el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento de plomo, cadmio y níquel en muestras de suelos agrícolas provenientes del sector San Alfonso, en la parroquia de Machachi del Cantón Mejía, a través de la aplicación de técnicas de normalización geoquímica. Las determinaciones se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama. El plomo

---

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador. (jose.quevedo@aguaquito.gob.ec; lmmeneses@puce.edu.ec).

y el cadmio se manifestaron como los contaminantes mayoritarios. El 90 % de los lotes presentaron valores de concentración de plomo superiores a 25 mg/kg, mientras que el 100 % de los lotes presentaron valores de concentración de cadmio superiores a 0,5 mg/kg. El factor de enriquecimiento para el plomo presentó valores entre 10,3 y 12,9, lo que indica que existe un moderado enriquecimiento de este mineral distinto al de la roca madre. En el caso del cadmio, los valores están entre 484,8 y 568,1 indicando un alto enriquecimiento y una grave contaminación de origen antropogénico. Para el níquel, los valores son inferiores a 10 por lo que su enriquecimiento proviene solo de la roca madre. Respecto al índice de geoacumulación, para el caso del plomo se encontraron valores entre 0,7 y 1,1 que lo clasifica como un contaminante moderado. Para el cadmio los valores van de 6,4 a 6,6, lo que indica una contaminación extrema. Para el níquel los valores son inferiores a 0, lo que indica que este metal no se presenta como contaminante. Para el caso del cadmio, se demostró que existe una grave contaminación de origen antropogénico, que puede deberse a la cercanía de un depósito de chatarra que bordea toda la zona en estudio.

## **ABSTRACT**

Geoaccumulation index and enrichment factor of lead, cadmium and nickel in agricultural soil samples from San Alfonso in the Parish of Machachi, Mejía County, through the application of techniques for geochemical normalization were determined. All determinations were performed by atomic absorption flame spectroscopy. Lead and cadmium are expressed as major contaminants. 90 % of the batch had lead concentration values higher than 25 mg/kg, whereas 100 % of the batch had cadmium values concentration higher than 0,5 mg/kg. The enrichment factor for lead showed values between 10,3 and 12,9, which indicates a moderate enrichment different of the bedrock mineral. In the case of cadmium, the values are between 484,8 and 568,1 indicating a high enrichment and serious pollution of anthropogenic origin. For nickel, the values are less than 10 so its enrichment comes only from the bedrock. Regarding geoaccumulation index, for the case of lead, values between 0,7 and 1,1 classifies it as a moderate contaminant. For cadmium values from 6,4 to 6,6 indicate extreme contamination. The values for nickel are lower than 0, indicating that the

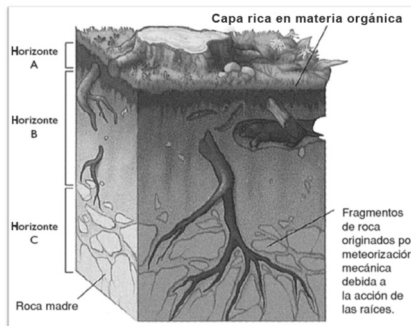
metal is not present as a contaminant. In the case of cadmium, it was shown that there is a serious contamination of anthropogenic origin, which may be due to the proximity of a junkyard that runs along the study area.

## INTRODUCCIÓN

Referirse al suelo es hablar de uno de los recursos naturales más complejos del planeta. Es un sistema biogeoquímico con entradas y salidas, la materia orgánica e inorgánica están en constante evolución, los microorganismos que lo habitan nacen y mueren, su porosidad provoca la libre entrada de aire y agua con materiales disueltos; estas características lo hacen fácilmente degradable y dinámico (Vega de Kuyper, 2002).

La evolución del suelo se puede observar gracias a sus estratos, representados en la Figura 1, llamados también horizontes, que son porciones consecutivas a ciertas profundi-

dades, con propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes. El primer estrato, denominado mantillo, es una capa fina de color marrón o negro y está compuesto principalmente por materia orgánica. El segundo estrato u horizonte "A" tiene aproximadamente 0,5 metros de profundidad, posee minerales, materia orgánica porosa y descompuesta por la acción de organismos vivos. El horizonte "B" posee mineral lixiviado proveniente de las capas superiores, con una profundidad máxima de 1 metro. Por último está el horizonte "C" correspondiente a la roca madre.



**Figura 1. Perfil del suelo**

Procesos de transformación de la roca madre como rotura física y alteración química, dan lugar a un enriquecimiento de los minerales en la corteza terrestre. Este fenómeno se conoce como meteorización, y puede ser mecánico, químico o biológico (Figura 1); sin embargo, otra fuente de enriquecimiento, está relacionada con las actividades antropogénicas que provocan, en muchos casos, severas modificaciones en el sistema biogeoquímico del suelo.

La industrialización, por efectos de las descargas líquidas, gaseosas y sólidas, además del almacenamiento inadecuado de residuos o chatarra, introducen una variedad de contaminantes en los diferentes sistemas. Como consecuencia se producen grandes deterioros de las condiciones ambientales.

Técnicas de normalización geoquímica permiten imputar la fuente y grado de contaminación de estas sustancias, a través del cálculo de los factores de enriquecimiento e índices de geoacumulación, respectivamente. Estas técnicas son aplicables a sustancias orgánicas e inorgánicas, y algunos autores las han utilizado

satisfactoriamente en determinaciones de metales pesados en suelos (Del Águila et al., 2005).

La técnica básicamente es una comparación de las concentraciones de los metales, en relación a un elemento conservativo en la corteza terrestre, que es aquel que no ha variado su concentración a través del tiempo, pese a los efectos antropogénicos que puedan darse. Para este estudio se utilizó el hierro como elemento conservativo.

En el sector de San Alfonso en Machachi, un área eminentemente agrícola, junto a varios cultivos existe un enorme depósito de chatarra, que es comercializada informalmente por gente de la zona y vendida a la acerería Adelca C.A., como materia prima para su regeneración en productos metálicos. La chatarra en forma de trozos o láminas no presenta un alto grado de peligrosidad, pero se puede transformar en material particulado, que es fácilmente transportado por el aire y el agua. La chatarra sucia casi siempre contiene residuos de aceite, pintura, etiquetas, plástico, solventes, lacas, barnices, adhesivos o soluciones; además es una combi-

nación de aleaciones especiales con diferentes ingredientes, incluidos metales pesados (Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, 2005).

Ciertos metales pesados y sus compuestos derivados, son especies químicas que en concentraciones de partes por millón son considerados tóxicos; entre los más representativos tenemos plomo, cadmio y níquel. La mayor abundancia entre estos elementos empieza con el níquel que se encuentra en un  $8 \times 10^{-3}$  % en la corteza terrestre (Valenzuela, 1999), seguido del plomo con un  $10^{-3}$  % y por último el cadmio con  $10^{-6}$  % (Cotton & Wilkinson, 1993).

La exposición a metales pesados produce perturbaciones en el sistema nervioso central especialmente en el cerebro; infertilidad por daños en el esperma en los hombres y abortos en las mujeres; cambio en el comportamiento de los niños, lo que produce agresividad, impulsividad e hipersen-

sibilidad; daño en el ADN, que conduce a la propagación de cáncer en especial de nariz, laringe, pulmón y próstata; alta probabilidad de sufrir fracturas; daño en los riñones; y producen reacciones alérgicas especialmente a las joyas (Lenntech, 2011).

Muchos de los agricultores de Machachi se quejan de que sus productos ya no crecen de la misma manera desde que la chatarra está ahí, acarrea consigo plagas, y sus predios han perdido valor comercial, algunos incluso temen por su salud (Simon, 2006).

Para identificar el grado de contaminación del suelo y atribuir la fuente de contaminación como natural o antropogénica en la zona agrícola estudiada, se analizaron los índices de geoacumulación y factores de enriquecimiento de plomo, cadmio y níquel, por medio de espectrofotometría de absorción atómica de llama, utilizando técnicas de normalización geoquímica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección, manejo y preparación de las muestras se realizó bajo procedimientos de la Sociedad Cana-

diense de la Ciencia del Suelo (Carter, 1993).

## Muestreo

El muestreo fue de tipo aleatorio estratificado por la descripción del sitio. Se recolectaron muestras de suelo a treinta centímetros de la superficie, de diez lotes cuya área total aproximada era de 5000 m<sup>2</sup>. De cada lote se obtuvieron tres muestras representativas de 500 g aproximadamente, dando un total de treinta muestras

## Preparación de muestras

Las muestras fueron transportadas y almacenadas en fundas Ziploc a una temperatura de 4 °C ± 2 °C. Una vez en el laboratorio se dejó estabilizar las muestras a temperatura ambiente, y se procedió con el cuarteo manual para obtener una submuestra.

## Determinación de propiedades físico-químicas

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) clasifica taxonómicamente al suelo en doce órdenes distintos de acuerdo a sus propiedades físicoquímicas, el clima donde se encuentran y el grado de meteorización que poseen. Según el

mapa general de suelos del Ecuador, San Alfonso pertenece al orden de los Mollisoles.

En este sentido, para constatar el tipo de suelo y la calidad en el uso agrícola, se realizaron ensayos de las propiedades físicoquímicas como: color y textura (Milford, 1997), humedad (ASTM International, 2001), pH (USEPA, 2004) y materia orgánica (ASTM International, 1988).

## Extracción y análisis de los metales (Pb, Cd, Ni y Fe)

El análisis instrumental de metales es aplicable a suelos previa extracción (Skoog, 2001). Se extrajeron los metales a través de una digestión ácida con ácido nítrico concentrado, asistida por microondas en muestra seca (USEPA, 2007). En la determinación se usó un equipo de absorción atómica de llama marca Varian 240FS. La llama fue alimentada por acetileno y aire como combustible y comburente respectivamente. Este método es rápido, sencillo, alberga un gran número de analitos, además satisface los límites de detección requeridos (USEPA, 1992).

## Factores de enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento se utiliza como referencia para imputar la fuente de contaminación de algunas sustancias de acuerdo a una escala numérica como se observa en la

Tabla 1. Alberga los elementos más abundantes en la corteza terrestre como hierro, silicio y aluminio. De esta manera se evalúa un posible impacto ambiental de origen antropogénico.

**Tabla 1. Clases de factores de enriquecimiento para un metal pesado (Del Águila et al., 2005)**

Clases de FE	Origen del elemento X (metal pesado)
1-10	De la roca madre.
10-500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre.
>500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico.

El factor de enriquecimiento de un metal se define como (Akoto et al., 2008):

$$FE = (X/Fe)_{\text{muestra}} / (X/Fe)_{\text{corteza}} \quad (1)$$

Donde: FE es el factor de enriquecimiento y  $(X/Fe)_{\text{muestra}} / (X/Fe)_{\text{corteza}}$  es la relación de la concentración del metal con la del hierro en la muestra y en la corteza terrestre respectivamente.

## Índice de geoacumulación (Igeo)

El índice de geoacumulación sirve para evaluar el grado de contaminación del suelo por sustancias orgánicas e inorgánicas. Es aplicable a metales pesados, siempre y cuando se disponga de sus concentraciones en muestras de la zona que no hayan tenido incidencia del hombre, de lo contrario se usa los datos de sus abundancias en la corteza terrestre. Existen seis categorías que corresponden a una clase de índice de geoacumulación con diferentes valores en intervalos que se explican en la Tabla 2.

**Tabla 2. Clases de Índices de geoacumulación para un metal pesado**  
(Del Águila et al., 2005)

Valor de I <sub>geo</sub>	Clases de I <sub>geo</sub>	Grado de contaminación
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado
1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} < 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado

Para calcular el índice de geoacumulación se utiliza la siguiente ecuación (Akoto et al., 2008):

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1,5B_n \quad (2)$$

Donde: C<sub>n</sub> es la concentración del metal en la muestra, B<sub>n</sub> es la concentración geoquímica del metal en la corteza terrestre.

### Tratamiento de resultados

Para el cálculo de los FE e I<sub>geo</sub> se tomó el promedio de las concentraciones de los metales de cada lote, en los otros parámetros se hizo un análisis estadístico para expresar los datos de acuerdo al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de las tres muestras representativas por lote, a excepción del color y textura que corresponden a ensayos con variables discretas.



## RESULTADOS

De acuerdo a los resultados de las propiedades fisicoquímicas presentados en la Tabla 3, se constata que el tipo de suelo corresponde al orden de los Mollisoles.

Las muestras recolectadas en su totalidad presentaron un color negro y una textura franco-arcillo-limosa. El pH se encontró en un rango de ligeramente ácido a neutro con valores desde 6,0 a 6,8 y con una variación máxima del 4,5 % representado en el

coeficiente de variación (CV) entre las tres muestras del lote 6. El rango de humedad se determinó desde 22,1 a 26,6 % lo que es normal para un suelo no árido con lluvias constantes y luego de que ha drenado el agua, la variación máxima se evidencia de igual forma en el lote 6 con un CV de 3,7 %. En cuanto a materia orgánica se encontraron valores desde 5,8 a 7,8 %; nuevamente el lote 6 presenta la mayor variación para este parámetro con un CV de 4,5 %.

**Tabla 3. Valores de pH, humedad y materia orgánica de las muestras de suelo analizadas**

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS			
LOTE	pH	Humedad %	MO %
1	6,2 ± 0,1	25,7 ± 0,4	7,8 ± 0,2
2	6,6 ± 0,1	26,6 ± 0,2	7,7 ± 0,3
3	6,1 ± 0,1	26,1 ± 0,2	7,1 ± 0,1
4	6,0 ± 0,2	24,9 ± 0,2	7,1 ± 0,1
5	6,6 ± 0,2	22,1 ± 0,6	5,8 ± 0,2
6	6,6 ± 0,3	24,5 ± 0,9	6,7 ± 0,3
7	6,4 ± 0,1	23,3 ± 0,6	6,9 ± 0,1
8	6,8 ± 0,0	24,7 ± 0,8	6,5 ± 0,2
9	6,7 ± 0,1	24,3 ± 0,5	6,7 ± 0,3
10	6,8 ± 0,1	24,7 ± 0,2	7,2 ± 0,2

Los resultados de la concentración de metales se presentan en la Tabla 4. Se puede ver que la concentración para plomo (Pb) se encuentra en el rango de 24,1 a 33,3 mg/kg. Para el caso del cadmio (Cd) el rango va de 1,2 a 1,5 mg/kg, mientras que para el ní-

quel (Ni) va de 19,4 a 55,5 mg/kg. Se puede también observar que el lote 2 es el que tiene la mayor concentración de plomo y cadmio, mientras que el lote 3 posee la mayor concentración de níquel.

**Tabla 4. Concentración de plomo (Pb), cadmio (Cd) y níquel (Ni) de las muestras de suelo analizadas**

LOTE	CONCENTRACIÓN DE METALES (mg/kg)		
	Pb	Cd	Ni
1	24,1 ± 3,7	1,2 ± 0,2	48,6 ± 11,6
2	33,3 ± 8,1	1,5 ± 0,1	41,0 ± 14,5
3	26,8 ± 1,3	1,4 ± 0,1	55,5 ± 6,2
4	26,8 ± 1,1	1,3 ± 0,1	35,8 ± 7,9
5	29,6 ± 1,7	1,4 ± 0,1	32,8 ± 3,6
6	27,4 ± 1,5	1,3 ± 0,1	22,6 ± 3,0
7	26,5 ± 0,9	1,3 ± 0,1	25,6 ± 5,6
8	29,2 ± 5,0	1,3 ± 0,1	21,2 ± 1,0
9	26,7 ± 0,9	1,3 ± 0,1	20,1 ± 0,8
10	29,8 ± 2,5	1,4 ± 0,0	19,4 ± 2,1

Como se muestra en la Tabla 5, los valores de FE para plomo están entre 10,3 y 12,9; para el caso del cadmio, los valores van de 484,8 a 568,1; mientras que para el níquel, los valores están entre 0,9 y 2,7.

Con respecto a los Igeo, para el caso del plomo, se encontraron valores entre 0,7 y 1,1; para el cadmio los valores van de 6,4 a 6,6; y para el níquel, todos los valores son inferiores a 0.

**Tabla 5. Resultados FE e Igeo  
de los 10 lotes de suelo analizados**

LOTE	FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO			ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN		
	Pb	Cd	Ni	Pb	Cd	Ni
1	10,3	526,1	2,6	0,7	6,4	< 0
2	12,9	563,3	2,0	1,1	6,6	< 0
3	10,3	527,7	2,7	0,8	6,5	< 0
4	11,0	538,5	1,8	0,8	6,4	< 0
5	12,3	568,1	1,7	1,0	6,5	< 0
6	10,3	484,8	1,1	0,9	6,4	< 0
7	10,6	515,9	1,3	0,8	6,4	< 0
8	10,9	494,3	1,0	1,0	6,5	< 0
9	10,0	497,8	0,9	0,8	6,5	< 0
10	11,3	520,3	0,9	1,0	6,5	< 0

## DISCUSIÓN

De acuerdo a las propiedades físico-químicas determinadas, el tipo de suelo al que corresponden las muestras de San Alfonso es Mollisoles, según la clasificación taxonómica de la USDA. Los Mollisoles son suelos de alto contenido mineral y con una superficie muy oscura, ricos en compuestos orgánicos, se encuentran principalmente en un clima húmedo entre frío y templado, presentan características de pH de ligeramente ácido a neutro, son arenosos con limo o limosos con arena, además del incremento de arcilla en profun-

didad, no permanecen secos 90 días al año o 60 días consecutivos y son extremadamente fértiles (Vallejo & Maldonado, 1986).

Los Mollisoles se encuentran en tercer lugar de los suelos con mayor intercambio catiónico (Garrison, 1989), esto conjuntamente con sus otras propiedades los hacen excelentes para la agricultura.

En cuanto a la materia orgánica, los valores están por encima del 5 % que es la referencia para un suelo orgá-

nico, la causa probable es que los agricultores de esta zona utilizan abono orgánico para sus cultivos como fertilizante natural, y además, existen criaderos de animales dentro de sus terrenos.

Con respecto a la concentración de metales pesados en las muestras, se observa en su mayoría una no conformidad con la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULAS, 2012); por ejemplo, en el caso de plomo, el 90% de los lotes sobrepasan los 25 mg/kg, este valor es el criterio de calidad como contaminante en un suelo que refleja variaciones geológicas naturales y que se encuentra libre de la influencia de actividades industriales o urbanas generalizadas; por otro lado, el cadmio en todas las muestras sobrepasa por más del doble el criterio de calidad de 0,5 mg/kg; mientras que el níquel, a pesar de ser un elemento mucho más abundante en comparación con los otros dos en la corteza terrestre, el TULAS tabula un criterio de calidad de 20 mg/kg y un valor máximo permisible de 50 mg/kg en suelos de uso agrícola que requieren remediación.

Siguiendo estas directrices, el lote 3 demandaría restauración por contaminación con níquel.

Los FE de plomo para los diez lotes se encuentran en la clase de 10 a 500, aunque muy cercanos al límite inferior, por lo que el origen de este elemento entra en el rango de moderadamente enriquecido, e indica otra fuente adicional de enriquecimiento a la de la roca madre. La información que nos proporciona el Igeo para Pb, trata de un contaminante moderado y se podría mantener en ese estado por algún tiempo.

El cadmio se presenta en el 70 % de los lotes con un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico. De igual forma, los Igeo mayores que 5 indican una contaminación extrema.

El níquel posee FE en la clase de 1 a 10 por lo que su enriquecimiento es proveniente de la roca madre, y según los Igeo menores que cero no se presenta como contaminante de la zona.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los FE e Igeo calculados a partir de las concentraciones de Pb, Cd y Ni, se concluye que el cadmio es el contaminante mayoritario con un enriquecimiento proveniente de fuentes antropogénicas como el almacenamiento y fundición de chatarra, el plomo es un contaminante moderado y el níquel no presenta una contaminación relevante.

El níquel es un elemento mucho más abundante en la corteza terrestre en comparación con plomo y cadmio, además se entiende que existen cantidades apreciables de este metal en el núcleo de la Tierra; sin embargo, los criterios de calidad y valores máximos permisibles descritos en la Legislación Ambiental Ecuatoriana están por debajo del plomo. El lote 3 tiene una concentración de níquel de 55,5

± 6,2 mg/kg por lo que no estaría conforme con el valor máximo permisible descrito en el TULAS y requeriría remediación. Esto es una pauta para la revisión de la Legislación ya que no existe una base científica o un estudio completo que respalden dichos valores en el Ecuador.

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras analizadas constatan el tipo de suelo que corresponde al orden de los Mollisoles, de esta manera se hace una suposición del alto intercambio catiónico que posee el suelo; esto, además de biodisponer a los nutrientes para las plantas, también lo convierte en un portador de los contaminantes (plomo y cadmio) hacia los cultivos y los consumidores de los cultivos.

## RECOMENDACIONES

Se debe realizar una caracterización de la escoria remanente de las fundiciones y continuar con los monitoreos periódicos en los alrededores de la planta de fundición y el depósito de chatarra.

Se debe promover campañas de capacitación al personal informal de reciclaje de chatarra para que adopten técnicas adecuadas de limpieza de los desechos metálicos recolectados.

## LITERATURA CITADA

- Akoto, O., Ephraim, J. & Darko, G. (2008). Heavy Metals Pollution in Surface Soils in the Vicinity of Abundant Railway Servicing Workshop in Kumasi, Ghana, *International Journal of Environmental Research*, 2, 359 - 364.
- American Society for Testing Materials, ASTM International, (1988). D2974 Ash Content and Organic Matter Content. USA.
- American Society for Testing Materials, ASTM International, (2001). D4959-07 Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil By Direct Heating. USA.
- Carter, M. (1993). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. (1a. ed.). Boca Raton, USA.
- Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, (2005). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos*. Montevideo, Uruguay.
- Cotton, F. & Wilkinson G. (1993). *Química Inorgánica Avanzada*, (4a ed.). México D.F, México.
- Del Águila, P., Lugo de la Fuente, J. & Vaca, R. (2005). Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma, *Ciencia Ergo Sum*, 12, 155-161.
- Garrison, S. (1989). *The chemistry of soils*. (1a. ed.). New York, USA.
- Milford, M. (1997). *Soils and Soils Science: Laboratory exercises*, (4a. ed.). Iowa USA.
- Lenntech (2011). Cadmio, <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- Simon, P., *Upside Down World* (2006), El Valle Ecológico de Machachi: el "último valle agrícola", ¿el valle de la chatarra?, <http://upside-down-world.org/main/en-espatop-menu-81/419-el-valle-ecolo-de-machachi-el-qmo-valle-agrlaq-iel-valle-de-la-chatarra>, 11 de enero de 2011.
- Skoog, D., (2001). *Principios de Análisis Instrumental*, (5a. ed.). Madrid, España.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente del Ecuador (TULAS),

- Libro VI, Anexo 2. Recurso Suelo, (2012). Ecuador.
- United States Environmental Protection Agency, USEPA, (1992). 7000A Atomic Absorption Methods. USA.
- United States Environmental Protection Agency, USEPA, (2004). 9045 D Soil and Waste pH. USA.
- United States Environmental Protection Agency, USEPA, (2007). 3051A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. USA.
- Valenzuela, C. (1999). Introducción a la Química Inorgánica, (2a. ed.). Madrid, España.
- Vallejo, L. & Moldanado, E., ISRIC World Soil Information (1986), Mapa General de Suelos del Ecuador, <http://library.wur.nl/isric/index2.html?url=http://library.wur.nl/WebQuery/isric/17544>, 15 de diciembre de 2011.
- Vega de Kuyper, J. (2002). Química del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, (1a. ed.). Santiago de Chile, Chile.