



## **Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos**

**Julissa Brizuela\*, Ygmar Jiménez**

Departamento de Química, Facultad de Ciencia y Tecnología,  
Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela

(\*) [jbrizuela@uc.edu.ve](mailto:jbrizuela@uc.edu.ve)

**Recibido:** 29/02/2012

**Revisado:** 18/07/2012

**Aceptado:** 22/08/2012

---

### **Resumen**

Para el estudio de suelos potencialmente contaminados por metales pesados es necesario definir los máximos niveles admisibles (niveles de referencia, NR), que no representan riesgo a la salud. Debido a que en los suelos no solo existe la adición antrópica, sino que existe un contenido natural de metales (niveles de fondo), propio de cada región edafogeológica, se recomienda establecer NR particulares para cada zona geográfica. Actualmente no existe una metodología única utilizada para establecer los NR para los metales en suelos, por lo que se planteó como objetivo de este estudio recopilar información sobre las diferentes metodologías aplicadas, lo que conllevó a construir un esquema general que engloba las metodologías más comunes.

**Palabras clave:** contaminación de suelos; metales pesados; niveles referencia.

### **Abstract**

New maximum permissible levels (reference levels RL) for the study of potentially contaminated soils by heavy metals were defined. Despite of anthropogenic contaminants in soils, there is also presented a certain amount of natural metals (background levels) in these soils according to the proper geographic region, which encouraged us to establish particular RL for the metals in soils. Currently, there is not an unique methodology to establish the RL for metals in soils, thus this study intend to review information on different methodologies applied to define RL. A general scheme covering all methodologies are presented.

**Keywords:** Soil contamination; Heavy metals; Reference levels

### **Introducción**

La contaminación de un suelo no sólo supone en sí misma una pérdida de un recurso natural, sino que, además existe el riesgo de que los contaminantes presentes en el suelo pueden alcanzar determinados receptores (agua, aire, plantas, humanos) provocando efectos negativos en los mismos<sup>1,2</sup>. La forma más relevante de contaminación de suelos es debido a derivados del petróleo y metales pesados<sup>3</sup>. La mayor atención a este tipo de contaminación se ha dirigido al sector agrícola, donde la contaminación por metales pesados, es provocada por una mala gestión agrícola, vertidos industriales, tráfico pesado, entre otras causas<sup>4-7</sup>. La valoración de la contaminación del suelo por metales pesados junto con la adopción de valores estándar, es fundamental para mantener las funciones agrícolas y ecológicas de los suelos, llegando a constituirse un indicador de la calidad del suelo, decisivo en relación con los riesgos de toxicidad<sup>8-11</sup>.

La tarea de demostrar que un suelo está contaminado, no es fácil, en especial si se trata de metales pesados, ya que su

presencia en el suelo puede tener un origen natural o antrópico. Por lo tanto, es necesario distinguir entre los denominados niveles de fondo (background) y los niveles de referencia (NR) o carga crítica de un suelo, con el fin de deducir si existe la necesidad de un estudio analítico de la contaminación, en función del uso<sup>7,12</sup>. El término de Nivel Genérico de Referencia (NGR), es definido para cada sustancia como la concentración límite en el suelo que se traduce en un riesgo admisible a la salud humana. Los NGR para las diferentes sustancias contaminante van a ser una herramienta fundamental en la gestión de suelos contaminados, pues van a delimitar aquellos suelos en los que razonablemente no se van a producir efectos (no contaminados), de los que pueden resultar más problemáticos (potencialmente contaminados), en cuyo caso es obligado un estudio más detallado para precisar si se declara o no como contaminado<sup>13-15</sup>. En la figura 1 se muestra la relación entre el riesgo admisible, los niveles de referencia y la contaminación de suelos.



**Fig. 1:** Los niveles de referencia en la definición de suelos contaminados.

La EPA<sup>16</sup> ha propuesto un conjunto de ecuaciones para el cálculo de los NGRs en función de distintos escenarios (residencial, industrial, agrícola, etc), vías de exposición (ingestión del suelo, contacto dérmico; inhalación) y tipo de contaminante<sup>17</sup>, utilizando criterios toxicológicos y ecotoxicológicos; es un método que requiere del cálculo de varios parámetros, con datos, preferiblemente locales, generados por otros entes (como la ATSDR, FDA, investigaciones epidemiológicas, etc) u otras investigaciones<sup>18-21</sup>, lo que muchas veces es de difícil acceso. La EPA también suministra junto con el modelo, valores por defecto, con lo que se logran algunas aproximaciones, facilitando el cálculo en aquellos casos donde no se dispone de algunos de los parámetros requeridos.

Con el objetivo de simplificar y hacer sustentable el procedimiento de obtención de estos valores de referencia, el Real Decreto de España RD 9/2005 ha propuesto que, cuando la Comunidad Autónoma no disponga de niveles genéricos de referencia para metales pesados ni sea posible la realización de análisis de riesgos, el cálculo de los NGRs se haga mediante la adición de dos veces la desviación estándar a la media aritmética, obtenida con el análisis de contenidos totales de metales en suelos no contaminados, independientemente de la distribución de la población que se utilice<sup>22</sup>.

Entre las principales ventajas del uso de los NGRs, se encuentra que: constituyen una buena aproximación económica y preventiva, para la evaluación de procesos de contaminación a nivel de fase exploratoria. Cuando esos niveles se superan, es obligatoria una investigación detallada. Además, constituyen referentes fundamentales para la investigación y gestión de suelos potencialmente contaminados.

Entre las principales limitaciones del uso de los NGRs, se encuentra que: para su obtención no toman en cuenta las numerosas reacciones y equilibrios multifase que tienen

lugar en el suelo y que controlan la dinámica de los metales pesados. Por otra parte, hacen referencia a contenidos totales de metales pesados en el suelo y no a concentraciones biodisponibles, siendo esta última la que indica la movilidad del metal y por ende, es lo que rige la toxicidad del metal. Por lo que, en países como Noruega ya han adoptado en su normativa de suelos contaminados valores límites para la biodisponibilidad de los metales pesados<sup>1,23,24</sup>.

Los niveles de referencia específicos (NRE) se establecen a partir de los niveles de fondo y rectas de regresión, las cuales establecen la relación entre los contenidos de metales y las propiedades edáficas<sup>25</sup>. Estos valores de referencia son más realistas, puesto que al considerar las propiedades edáficas, tienen en consideración la capacidad amortiguadora del suelo hacia los procesos de contaminación por metales pesados<sup>13</sup>.

En Holanda, país pionero en el desarrollo de metodologías para la determinación y valoración de riesgo, se han desarrollado niveles de referencia para metales pesados en función de la fracción de arcilla y/o contenido en materia orgánica, y se calculan mediante ecuaciones de regresión lineal en las que se considera un suelo estándar con 25% de arcilla y 10% de materia orgánica, teniendo en cuenta los niveles de fondo de los suelos holandeses<sup>8,21</sup>. Esta normativa no se puede aplicar en países mediterráneos o en Venezuela, porque los suelos son muy diferentes.

El fondo geoquímico natural (niveles de fondo, *geochemical background*), representa la concentración de un elemento químico en suelos no contaminados. Como este valor es prácticamente imposible de obtener, ya que actualmente no existen suelos vírgenes no contaminados en el mundo, se utilizan los denominados niveles de fondo geoquímico (*geochemical baseline*)<sup>26</sup>, que representan una medida de las variaciones geoquímicas superficiales, tal como se encuentran en el momento de realizar la toma de muestra. Como estos valores pueden estar influenciadas por la litología del subsuelo y afectadas por el contenido geoquímico de la unidad geotectónica donde se encuentra, se determina también los fondos geoquímicos regionales (*regional geochemical baseline*)<sup>21,27-29</sup>.

El establecimiento de niveles de fondo para un territorio, constituye una poderosa arma para la planificación ambiental y para las políticas de Salud Ambiental. Sirve de base para documentar, cualquier procedimiento para declarar un suelo como contaminado<sup>13,17,30</sup>.

Actualmente la mayoría de los países se encuentran en una fase temprana en el registro e identificación de emplazamientos contaminados. Dinamarca, Suiza y Alemania se encuentran entre los países que han identificado gran parte del total de sus lugares contaminados. En Holanda,

Estados Unidos, Alemania y Suiza se han establecido niveles de referencia con rango normativo. En España tienen rango normativo las comunidades del País Vasco, Madrid y Aragón, y otras están en proceso de aprobación, como en Galicia, Murcia y Cataluña<sup>29</sup>.

La investigación orientada hacia la gestión de suelos contaminados, ha recibido mucho apoyo del sector económico europeo, debido a los elevados costos relacionados con los proyectos de descontaminación. A pesar del avance logrado, existen algunas lagunas a nivel mundial sobre los niveles o valores de calidad de suelos. Por ejemplo, no existe una metodología única, explícita y estandarizada para la calidad de los suelos evaluada con respecto a metales pesados<sup>31</sup>.

En Venezuela, al revisar la política ambiental se encuentra que existe un amplio marco legal, que incluye la protección del recurso agua, aire y suelo<sup>32</sup>, pero no hay normativas específicas que reglamenten la protección del

suelo como resultado de la contaminación antropogénica por metales pesados.

En el cuadro 1 se presenta un resumen de la legislación ambiental de mayor interés para el sector industrial de Venezuela, dirigidos a la prevención y control de la contaminación del recurso suelo.

El presente trabajo está orientado a recopilar información sobre las diferentes metodologías aplicadas, para establecer los niveles de referencia para metales pesados en suelos. Dicha información, servirá de orientación en la discusión de nuevas normativas para suelos o para fijar criterios en posteriores estudios ambientales relacionados con la caracterización de la contaminación en un suelo de uso agrícola o industrial potencialmente contaminado por metales pesados, en Venezuela o en cualquier otro país donde no se hayan fijado criterios para establecer niveles de referencia para metales pesados en suelos.

**Cuadro 1:** Resumen de la normativa ambiental venezolana relacionadas con la prevención y control de la contaminación del recurso suelo

Norma		Breve Descripción
Ley sobre sustancias y materiales peligrosos (año 2001)		Regula la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos
Ley Forestal de suelos y aguas (año 1966)		Rige la conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos naturales y sus productos. Fue modificada a través de la Ley de Suelos y Aguas (año 1977)
Decreto 1.257	(año 1996)	Dicta las normas sobre Evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente, establecer la obligatoriedad de los estudios de impacto ambiental de proyectos de rellenos sanitarios y de seguridad.
Decreto 2.635	(año 1998)	Norma para el control de la generación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Regula la recuperación de materiales y el manejo de los desechos cuando estos tienen características, composición o condiciones peligrosas, representando una fuente de riesgos a la salud y el ambiente.

Adaptado de la referencia 32

**Metodologías utilizadas para establecer Niveles de Referencia**

La metodología seguida para la definición de los niveles de referencia, es científicamente muy rigurosa, de manera general incluye los siguientes grupos de tareas<sup>13,17,25</sup>:

La descripción detallada de cada una de estas etapas resulta de vital importancia para garantizar las conclusiones extraídas del estudio. Entre los puntos más importantes relacionados con las metodologías revisadas, se pueden destacar:



*Muestreo y mediciones:*

Los puntos de muestreo se deben realizar atendiendo a que, deben ser suelos sin contaminación previsible (zonas alejadas de núcleos industriales y vías de alta densidad de tráfico) y la unidad morfológica a la que pertenece la muestra debe ser lo más representativa posible. Para la localización de las muestras es indispensable el apoyo de diversos mapas cartográficos edafológicos y geológicos disponibles a escalas de 1.400.000; 1.200.000 y 1.500.000. Aplicar un muestreo de tipo estratificado aleatorio, el cual permite estimar el error de muestreo. A la vez que se recomienda trabajar con muestras compuestas (5-10 submuestras) de la capa arable (0-20 cm ó 50 cm superficial). Cuando no se tiene conocimiento de la distribución de los contenidos de metales, es útil determinar el tamaño de muestra óptimo<sup>15</sup>. Y muchas veces es necesario un estudio tipo piloto (*screening*). La digestión de la muestra se realiza por microondas o con agua regia. Se requiere la utilización de técnicas analíticas

confiables, validadas, y los niveles de detección y especificidad necesarios<sup>23</sup>, comúnmente se utiliza espectroscopia de absorción atómica (AA) o la espectroscopia de emisión acoplado inductivamente a plasma (ICP) o una cámara de grafito.

*Métodos estadísticos más utilizados:*

Análisis estadístico Univariante (media, mediana, Desviación Estándar (DE), gráfico box-plot, histogramas, Test de normalidad Kolmorov-Smirnov, otros); Análisis de varianza y pruebas de significación; Análisis Estadístico Multivariante (Análisis de Componentes Principales; Análisis de Clúster y Análisis Discriminante Lineal).

El criterio estadístico para la derivación de los niveles de referencia, dependerá de las características edafológicas específicas en un área geográfica y del tipo de distribución de los datos de concentración de metales<sup>33</sup>. En la tabla 1 se muestran algunos de los criterios estadísticos utilizados para la derivación de los niveles de referencia.

**Tabla 1.** Resumen de las metodologías comúnmente usadas para establecer los niveles de referencia para metales pesados en suelo.

Obtención de los datos	Metodologías según tratamiento estadístico de los datos	Características principales	Expresiones de los niveles de fondo y niveles de referencia
Determinación de contenido total de metales en zona sin contaminación previsible para determinar los niveles de fondo (X= es el valor medio del contenido del elemento traza y DE= desviación estándar)	<b>Métodos estadísticos descriptivos</b>	Identificación y eliminación de valores discordantes. Es favorable cuando no se sospecha una posible contaminación en la zona Identificación del tipo de distribución de los datos (prueba de normalidad)	NR=X+nDE Si la distribución de los datos es Normal NR=NF+2DE; NR=NF+3DE Si la distribución no es normal NR= [(3° I – 1° I) * 1.5]; I= intercuartil
	<b>Gráficas Probabilísticas</b>	Utilización de todos los datos incluyendo valores discordantes. Es favorable cuando existe una posible contaminación en la zona de estudio Requiere tamaños de muestras grandes.	Representación gráfica de la concentración del elemento en función del porcentaje de frecuencias acumuladas Se identifican dos poblaciones: población de fondo y población con posible contaminación específica. Se calcula la media aritmética y desviación estándar para cada población y se define el límite superior dado por la ecuación: X+nDE
	<b>Método del Bootstrap</b>	Cálculos repetitivos para obtener estadísticos asociados a una muestra (Re-muestreos). No obliga a la eliminación de valores discordantes.	Obtención del histograma de distribución de los valores X+nDE y cálculo de los intervalos de confianza. El valor medio del intervalo se asume como el valor de referencia
	<b>Ecuaciones lineales</b>	Determinación e Identificación de las propiedades de los suelos que tengan alta correlación con los metales. Correlación del contenido de metales pesados con las propiedades edáficas (materia orgánica, arcilla, carbonatos, otros).	NR= X+Aa+Bb+...Zz; donde: NR= es el nivel de referencia A, B, ... Z= valores medios de las propiedades edáficas. a, b, ... z= pendientes de las rectas de regresión simple

Adaptado de la referencia 33

En la figura 2, se representa de manera global las metodologías más utilizadas, en estudios realizados por varios autores<sup>13,17,18,21,27,28,30,32-37</sup>, abarcando el método estadístico descriptivo y el método de ecuaciones lineales. Allí se observa que, como punto de partida se debe tener información del sitio, lo que conllevara a fijar una estrategia de muestreo. Luego deben desarrollarse tres etapas de medición: contenido total de metales, propiedades edáficas y un análisis mineralógico de ser posible o creerse necesario. Teniendo este grupo de datos se debe aplicar un análisis estadístico descriptivo y en función de estos resultados, adoptar el criterio estadístico más apropiado para expresar los niveles de referencia.

Los niveles de fondo se obtienen a partir de los datos el contenido de base de los metales, aquí dependiendo de la distribución de los datos se utiliza la media aritmética si es una distribución normal, o si no resulta una distribución normal o es log-normal y su desviación estándar es pequeña se toma la media geométrica como nivel de fondo.

Luego que se tiene el nivel de fondo, se selecciona la expresión a usar para proponer los niveles de referencia, por ejemplo: si no hay correlación estadísticamente significativa entre el contenido de metales y las propiedades edáficas se puede utilizar la expresión más sencilla:  $NR = NF + nDE$  o fórmulas EPA, en este caso serían niveles genéricos de referencia (NGRs).

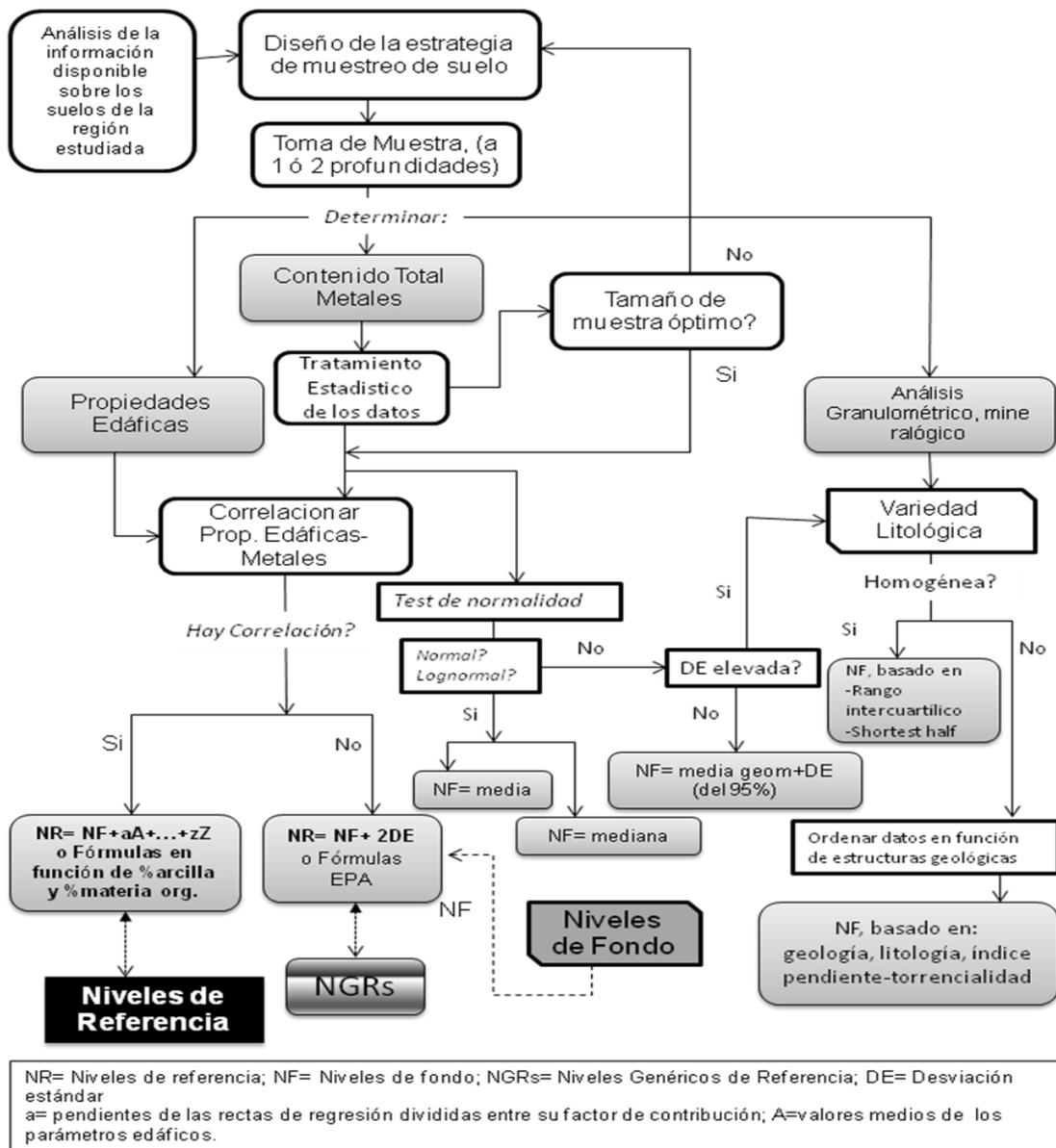


Fig. 2: Esquema general de las metodologías más utilizadas para establecer niveles de referencia.

Pero si por el contrario, existe una correlación estadísticamente significativa, se puede expresar con una ecuación de regresión lineal, resultando un nivel de referencia específico<sup>13,17,22</sup>.

Si el análisis mineralógico y granulométrico arroja que existe una variedad litológica, se aplica el mismo procedimiento, estructurando los datos según la geología y los resultados se expresan de manera específica para cada unidad litológica.

### Países que ya han establecido Niveles de Referencia (NR)

Solo unos pocos países ya han establecido los valores de fondo para los metales pesados, y consecuentemente los niveles de referencia. Donde no se han establecido NR, utilizan los valores de referencia extranjeros. Por lo

general, en estudios donde se investiga la calidad del suelo, con miras a aplicar procesos de remediación, se comparan los contenidos de metal obtenidos con los rangos establecidos por legislaciones de varios países y agencias internacionales como la EPA o con los propuestos por otros autores<sup>35,37-41</sup>. En la tabla 2, se evidencia la gran variabilidad de estos estándares establecidos por diversas países y organismos, lo cual puede explicarse por el hecho de que los patrones de distribución de concentraciones de los elementos son principalmente influenciados por la naturaleza geoquímica de la roca<sup>10, 25,42-44</sup>. Por lo que, el buen uso de estos valores estándares implica usar aquellos basados en fondos geoquímicos de propiedades semejantes al área estudiada.

**Tabla 2:** Niveles de referencia propuestos por agencias y por diferentes legislaciones en varios países y algunas provincias de España, para los metales pesados más frecuentes en los suelos (mg/kg suelo).

	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni
Normativa Suiza	-	50	50	200	75	50
IHOBE-País vasco <sup>(1)</sup>	-	25	45	110	-	40
USEPA-Estados Unidos <sup>(2)</sup>	0,5	25	100	-	130	50
CETESB-Brasil <sup>(3)</sup>	-	30	20	60	40	10
Tabla Holandesa	-	50	85	140	100	30
UE (máximo)	-	140	300	300	-	75
Austria	-	100	100	300	100	100
Canadá	-	100	200	400	75	100
Polonia	-	100	100	300	100	100
Japón	-	125	400	250	-	100
Gran Bretaña	-	100	100	300	50	50
Alemania	-	200	1000	600	200	200
China	0,43	31,7	37,5	117,7	58,9	-
South Hydereabad- India	-	35	20	71	35	-
Holanda, valor referencia	0,8	36	85	140	100	35
Holanda, valor de urgente intervención	12	190	530	720	380	210
Málaga-España	0,5	65	69	132	132	-
Granada-España	-	26	36	76	66	-
Madrid-España	0,84	34	88	109	-	-
Medina del campo Valladolid-España	0,44	9,41	13,78	33,44	16,14	-
Almeira-España <sup>(4)</sup>	15,6	578	-	4,63*10 <sup>3</sup>	2,35*10 <sup>3</sup>	313
Castellon-España <sup>(5)</sup>	0,3	31,3	23,4	74	29,7	19,4
Alicante-España <sup>(6)</sup>	0,7	28	28	83	36	31
Alicante-España <sup>(7)</sup>	0,9	28	28	91	39	37
Murcia-España <sup>(8)</sup>	-	19	14	66	69	30

Adaptado de las referencias 44 y 33.

<sup>(1)</sup> IHOBE (2003) del Gobierno Vasco. <sup>(2)</sup> Soil Guideline Departament Enviromental Agency de Estados Unidos. <sup>(3)</sup> Enviroment Agency of Sao Paulo, Brazil. <sup>(4)</sup> Propuesto por Sierra, 2005 usando fórmulas de la EPA, sin restricción de uso. <sup>(5)</sup> Propuesto por Peris, 2006 usando NR=VF+2DE. <sup>(6)</sup> Propuesto por Mico, 2005 usando NR=VF+2DE. <sup>(7)</sup> Propuesto por Mico, 2005 usando intercuartiles VR= [(3° I - 1° I) \* 1.5]. <sup>(8)</sup> Propuesto por Castillo et al, 2003 usando media entre NR=VF+2DE y Regresión lineal.

Por otra parte, en esta tabla 2 se agrupan algunos valores de NR establecidos en estudios realizados en algunas Autonomías de España, país donde se han avocado en los últimos años a obtener niveles de referencias regionales. Aquí también se pueden distinguir las variaciones que existen, entre los NR propuestos para los metales pesados, a pesar de referirse a un mismo país, debido básicamente a su diversidad geológica y edáfica, observándose que existen algunos rangos de concentración amplios: Ni (9,81-313 mg/kg); Cu (9,41-578 mg/kg); Zn (33,44-4,63\*10<sup>3</sup> mg/kg); Cd (0,3-15,6); Cr (16,14-2,35\*10<sup>4</sup> mg/kg) y Pb (13,78-44,7 mg/Kg). Esta variabilidad, apoya lo que dicen algunos autores sobre que no es recomendable proponer valores para todo un territorio nacional, siendo lo más adecuado establecer niveles de referencia regionales<sup>13,17,30</sup>. El método de cálculo, en algunos casos también introdujo diferencias, resultando el menos restrictivo donde se utiliza para el cálculo las fórmulas propuestas por la EPA.

### Conclusiones

- Los niveles de referencia (NR) representan una guía de valores a tener en cuenta en los trabajos de evaluación, donde se quiere tener una idea rápida del estado de contaminación del emplazamiento.
- Antes de que un suelo sea declarado como contaminado por metales pesados se requiere establecer su calidad a través de la determinación de los niveles de fondo de metales pesados y propuesta de niveles de referencia.
- Hay una variedad de metodologías científicamente rigurosas, aplicadas para el establecimiento de dichos valores, las cuales se asemejan principalmente en lo relacionado al muestreo y se diferencian en el criterio estadístico para expresar los resultados.
- En la revisión de estudios de contaminación de suelos por metales pesados, se evidenció que son muchos los que basan su discusión, sobre si el emplazamiento está o no contaminado, en valores estándares fijados por otros países o agencias internacionales, que poseen suelos con propiedades muy distintas, por lo que pudieran estar subestimando o sobreestimando el nivel de contaminación encontrado.
- A pesar de que, son pocos los países que han establecido sus valores de referencia, la tendencia mundial es el desarrollo de los valores básicos para cada región en cada país. Esta situación representa un reto, ya que no es una tarea fácil, debido a todas las dificultades asociadas al tratar con material edáfico y elementos a nivel traza (heterogeneidad, dependencia del contexto geológico y edáfico, baja reproducibilidad, niveles detectables requeridos muy bajos, entre otros factores). Hasta tanto no se logre esto, se seguirán

tomando como guía los estándares internacionales ya establecidos, siendo lo más adecuado, la utilización de aquellos basados en fondos geoquímicos de propiedades semejantes al área estudiada.

- En cuanto a nuestro país, es necesario revisar las normas establecidas para la protección y recuperación del suelo, actualizarlas según la tendencia mundial, incluyendo estándares de referencia, de manera de poder mejorar la gestión ambiental de sitios potencialmente contaminados. Y contar además, con un instrumento que permita evaluar el impacto sobre el suelo de diferentes actividades industriales y agrícolas. Para ello, es necesario que se apoyen las investigaciones científicas orientadas para tal fin, con el adecuado financiamiento y se exija al sector industrial su participación.

### Referencias

1. J Ansorena. El suelo en la agricultura y el medio ambiente. Contaminación del Suelo. Cap. IV. Departamento de Agricultura y Medio Ambiente. Sustrai-49, 40(1) (1996).
2. A Bautista, J Etchevers, J Del Castillo, R Gutiérrez. La calidad del suelo y sus indicadores. **Ecosistemas**, **13(2)**, 90-97 (2004).
3. Y Pérez, N Moura, M Balbin, R Valdés & M Lima. Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del Municipio San José de las Lajas. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, **21(1)**, 43-46 (2012).
4. O Morton. Contenido de Metales Pesados en Suelos de la Ciudad de México. **Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas**, **9(1)**, 45-47 (2006).
5. C Mico, M Peris, J Sánchez, L Recátala. Heavy metal content of agricultural soil in a Mediterranean semiarid area: The Segura River Valley (Alicante). **Spanish Journal of Agricultural Research**, **4(4)**, 363-372 (2006).
6. J Pérez, J Domènech, J. Ramos, L Molinelli. Suelos Contaminados. Documento Final. GT-SCON- IXCONAMA. 9no. Congreso Nacional del Medio Ambiente. España (2008).
7. J Prieto-Méndez, A González, C González, A Román, F Prieto. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales Pesados provenientes de suelos y agua. Revisión. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, **10**, 29-44 (2009).
8. L Pérez, A Moreno, L González. Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados. **Edafología**, **7(3)**, 113-120 (2000).
9. J Hernández, M Fernández, M Alarcón. Valores de fondo y valores genéricos de referencia para Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en suelos del campo de Cartagena, Murcia (SE España). **Edafología**, **12 (2)**, 105-114 (2005).

10. L Recatalá, J Sánchez, C Arbelo, D Sacristán. Can reference values of heavy metals useful as soil quality standards? Contributions from assays in representative Mediterranean agricultural soils. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 16 August Australia. Published on DVD. 23-26 (2010).
11. M Dasaram, M Satyanarayanan, V Sudarshan, A Keshav Krishna. Assessment of Soil Contamination in Patancheru Industrial Area, Hyderabad, Andhra Pradesh, India. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences** **3(3)**, 214-220 (2011).
12. E Galán, J Fernández-Caliani, I González, P Aparicio, A Romero. Influence of Geological Setting on Geochemical baselines of trace elements in soil Application to Soil of South-West Spain. **Journal of Geochemical Exploration**. **98**, 89-106 (2008).
13. C Micó. Estudio de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Universidad de Valencia. Servei de publicacions. Tesis Doctoral (2005).
14. D Baretino. La investigación de suelos contaminados en el IGME. Instituto Geológico y minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. Extraído el 04 Julio del 2012, en el sitio: <http://www.igme.es/internet>.
15. J Aguilar, C Dorronsoro, E Galan, A Gómez. Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía, la metodología y técnica de toma de muestra y análisis para su investigación. En Investigación y Desarrollo Medioambiental en Andalucía. OTRI. Universidad de Sevilla. 61-64 (1999)
16. EPA. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: Metals (1992).
17. M Sierra. Niveles de metales pesados y asociados en suelos de la provincia de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Tesis Doctoral (2005).
18. A Vázquez, L Cajuste, R Carrillo-González, B Zamudio-González, E Álvarez-Sánchez, J Castellanos-Ramos. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del mezquital, Hidalgo. **Terra Latinoamericana**, **23(4)**, 447-455 (2005).
19. A Rihn, C Anacona. Riesgos ambientales asociados a sitios contaminados. Proyecto FDI. INTEC-SAG. México (2004).
20. M Díez, M Simón, F Martín, C Dorronsoro, I García, C Van Gestel. Ambient trace element background concentrations in soils and their use in risk assessment. **Science of the Total Environment**. **407**, 4622-4632 (2009).
21. E Galán, A Romero. Contaminación de suelos por metales pesados. Conferencia. **Revista de la Sociedad Española de Mineralogía**, **10**, 48-60 (2008).
22. BOE. Real Decreto 9/2005, de 14 de Enero, por el que se establece la relación de Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo y los Criterios y estándares para la Declaración de Suelos contaminados. Pp 11. BOE nº 15 de 18 de enero de 2005, Madrid.
23. L Acevedo. Caracterización de la contaminación en sólidos (suelos y sedimentos) encaminada a su regeneración: muestreo, extracción y técnicas analíticas más utilizadas. Simposio Internacional de Geología Ambiental para Planificación del Uso del Territorio, Puerto Varas (2002).
24. T Tarvainen. E Kallio. Baselines of certain bioavailable and total heavy metal concentrations in Finland. **Applied Geochemistry**. **17**, 975 (2002).
25. M Castillo, J Martín, R Jiménez. Estándares de calidad de los suelos del Campo de Montiel (ciudad real) en función del contenido en metales pesados. **Edafología**, **10(1)**, 23-32 (2003).
26. R Salminen, V Greforauskiene. Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. **Applied Geochemistry** **15**, 647-653 (2000).
27. P Tume, J Bech, F Reverter, J Bech, L Longan, L Tume, B Sepúlveda. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils. **Journal of Geochemical Exploration**. Disponible on line en: [www.elsevier.com/locate/jgeoexp](http://www.elsevier.com/locate/jgeoexp) (2010).
28. C Cancela. Contenido de macro-, micronutrientes, metales pesados y otros elementos en suelos naturales de São Paulo (Brasil) y Galicia (España). Universidad de A Coruña, España, Tesis doctoral, 574p. (2002).
29. M Irabien, I Yusta. Selección de fondo geoquímico para metales pesados en sedimentos actuales en la Bahía de Santander. **Geogaceta**, **26**, 39-42 (1999).
30. R Jiménez, P Conde, J Martín, R García. Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla-La Mancha. **Estudios Geológicos**. **66(1)**, 123-130 (2010).
31. J Pina. Estudio de los niveles de referencia y valores de fondo de elementos traza en los suelos. Departamento de Ingeniería Química y Combustibles. Abstract (del IGME) Spain (2007).
32. G Ferrara, M Najul, M Lara, R Sánchez. Fundamentos para la evaluación y control de la calidad ambiental. Cendes, UCV 2008.
33. G Rueda, J Rodríguez, R Madriñan. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. **Acta Agronómica**, **60 (3)**, 203-218 (2011).
34. M Sánchez. Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia. Universidad de Valladolid. España. Tesis Doctoral (2003).

35. H Rivera, J Chira, M Campián, F Cornelio. Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz – Carhuaz. **Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG**, **11(21)**, 19-24 (2008).
36. M Peris. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universidad de Valencia. Servei de publicacions. Tesis Doctoral (2006).
37. I Suciú, C Cosma, M Todică, S Bolboacă, L Jäntschi. Analysis of Soil Heavy Metal Pollution and Pattern in Central Transylvania. Transylvania. **Int. J. Mol. Sci.**, **9**, 434-453 (2008).
38. IHOBE. Investigación de la Contaminación del Suelo. Plan Director para la protección del suelo. Gobierno Vasco. Ed IHOBE S.A. (1993).
39. S Puga, M Sosa, T Lebgue, C Quintana, A Campos. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. **Ecología Aplicada**, **5(1-2)**149-155 (2006).
40. A Carrasquero. Determinación de los niveles de contaminación con plomo en los suelos y polvo de las calles de la ciudad de Maracay. **Agronomía Trop.**, **56(2)**, 237-252 (2006).
41. I Camargo, G Hiromoto, M Flues. Heavy Metal Partition in Acid Soils Contaminated by Coal Power Plant. **J. Braz. Chem. Soc.**, **18(4)**, 831-837 (2007).
42. G Montenegro, C Fredes, E Mejías, C Bonomelli, L Olivares. Contenidos de metales pesados en suelos cercanos a un Relave cuprífero chileno. **Agrociencia**, **43**, 427-435 (2009).
43. S Siddiqui, R Khattak. Heavy metals distribution in the soils of Peshawar Valley, Northern-Pakistan. **Scientific Research and Essays**. **7(5)**, 544-552 (2012).
44. F Belmonte, A Romero, F Alonso, J Moreno, S Rojo. Afección de suelos agrícolas en áreas limítrofes a explotaciones mineras del Sureste de España. **Papeles de Geografía**, **51-52**, 45-54 (2010).