

Metales pesados en un suelo afectado con aceite proveniente de motores de combustión interna

Yudith Acosta^{1*}, Maziad El Zauahre¹, Nicolás Reyes¹, Hendrina García¹, Carlos Morales² y Anally Revilla²

¹Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA), Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo.

²Programa de Ingeniería Química, Área de Tecnología, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Punto Fijo, Venezuela.

*yacosta@ivic.gob.ve

Resumen

La toxicidad del aceite proveniente de los motores de combustión interna deriva del desprendimiento durante su combustión de compuestos orgánicos nocivos y metales pesados potencialmente fitotóxicos, de escasa biodegradabilidad provocando su acumulación en aguas y suelos. Este estudio consistió en evaluar el contenido total de algunos metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) en muestras de un suelo afectado por el vertido de aceite usado en variada proporción, indicando diferente nivel de contaminación ($A > B > C$), en relación al suelo no contaminado empleado como control (S). A los efectos, las muestras fueron caracterizadas fisicoquímicamente, obteniendo los siguientes valores de pH: $A=6,94$; $B=7,18$; $C=7,50$ y $S=7,65$; y de Carbono Orgánico Total (COT) (%): $A=3,18$; $B=2,79$ y $C=1,93$; registrándose, para este último parámetro, valores significativamente más altos en relación al suelo control (S) con $COT=0,41\%$. Los valores obtenidos en el contenido total ($mgkg^{-1}$) de metales pesados en A, B y C fueron para Cd: $A=11,66$; $B < 5$ y $C < 5$ y para Pb: $A=430$; $B=376,67$ y $C=191,66$; los cuales resultaron ser significativamente más altos ($p=0,05$), especialmente para Pb, en relación a S ($Pb < 5 mgkg^{-1}$). El contenido de Cd y Pb para las muestras A y B (más contaminadas) superó los límites establecidos por la normativa internacional.

Palabras clave: suelo contaminado, metales pesados, aceite de motor.

Heavy Metals in Soil Affected by Oil From Internal Combustion Engines

Abstract

The toxicity of used oil derives from the detachment of harmful organic compounds and potentially phytotoxic heavy metals during its combustion, whose scant biodegradability provokes an accumulation in waters and soils. This study consisted of evaluating the total content of some heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in soil samples affected by the spillage of used oil in varied proportions, indicating different pollution levels ($A > B > C$), in relation to non-contaminated soil used as a control (S). The samples were characterized physico-chemically, obtaining the following pH values: A=6.94; B=7.18; C=7.50 and S=7.65 and for Total Organic Carbon (TOC) (%): A=3.18; B=2.79 and C=1.93, evidencing high values for this last parameter, in relation to the control soil (S) with a TOC = 0.41%. Total heavy metal content (mgkg^{-1}) in A, B and C were indicated thus for Cd: A=11.66; B<5 and C>5; and for Pb: A=430; B=376.67 and C=191.66, which turned out to be significantly higher ($p=0.05$), especially for Pb, in relation to S (Pb<5 mgkg^{-1}). The content of Cd and Pb in A and B (more contaminated) exceeded the limits established by international regulation.

Key words: heavy metals, contaminated soil, engine oil.

Introducción

Cierto tipo de sustancias al acumularse en el suelo a niveles elevados de concentración, se vuelven tóxicas para los organismos del suelo y éste sufre una degradación química [12]. La FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) define la contaminación del suelo como una forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del mismo [17]. La acumulación de sustancias tóxicas para los organismos en el suelo suele producirse de una manera artificial, como consecuencia de las actividades humanas [22]. Existe una fuerte tendencia a la utilización racional o conservación del suelo, la cual busca obtener máximos rendimientos con una mínima degradación de estos [15].

La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo, y puede impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada [28].

Los aceites usados en los motores de combustión interna son una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos derivados de los procesos de oxidación y otros elementos resultantes del desgaste de los metales que conforman la

maquinaria. El resultado final es una reducción de la calidad original del aceite y la producción de un residuo. La operación de los aceites lubricantes en presencia de aire a altas temperaturas, favorece la oxidación del aceite lo cual conlleva a compuestos intermedios tales como hidroperóxidos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, resinas y naftalenos [18]. El producto final es un líquido de viscosidad variada, ennegrecido con respecto al original, con la peculiaridad de que contiene residuos tóxicos y peligrosos; por lo que su eliminación por vertido o incineración incontrolada origina graves problemas de contaminación en aire, agua y suelo debido a su toxicidad, baja biodegradabilidad, bioacumulación, emisión de gases y descomposición química [32].

Los vertidos de estos aceites en el suelo, afectan su fertilidad al impedir el normal desarrollo de la actividad biológica y química del mismo; y según el tipo de suelo en que estos desechos sean vertidos, pueden ocasionar contaminación de las aguas subterráneas [16].

En el estado Falcón, los aceites provenientes de algunos talleres que efectúan cambio de aceite en los automóviles, son vertidos directamente en algunos terrenos urbanos del Municipio Carirubana. Esta situación motivó la presente investigación cuyo objetivo consistió en determi-

nar el contenido total de algunos metales pesados, incluyendo los potencialmente tóxicos para las plantas, en este suelo contaminado.

Adicionalmente, a través de la determinación de algunos parámetros fisicoquímicos, se evaluaron las condiciones del suelo en los sitios contaminados a fin de comparar éstas con las correspondientes al sitio no contaminado y su relación con el contenido de metales pesados.

Materiales y métodos

Las muestras de suelo usadas para el estudio provienen de un área de terreno urbano ubicado en la comunidad de La Puerta Maraven, Parroquia Punta Cardón, Municipio Carirubana, Estado Falcón, Venezuela. Este tipo de suelo entra en la clasificación de Calciorthids/Camborthids (suelos medios, poco profundos) [40] [41]. Ubicación: 11° 39' 3" latitud norte y 70° 12' 56" longitud oeste. Altitud: <50 m.s.n.m. (altura general en la parte norte de la Península). Precipitación: 300 a 600 mm. Provincia de Humedad: Semi-árida. Temperatura media anual: 28°C (Máximo: 29°C; Mínimo: 27°C). Relieve: Predominantemente plano con basamento geológico constituido por calizas y rocas arcillosas calcáreas. Con pendientes de 1 a 2%, presentando microrelieve de cuevas como consecuencia de erosión diferencial. Tipo fisonómico: Siempre-verde Espinoso. Dominancia de Vegetación: Cubierta vegetal constituida por una vegetación de espinares: cardón (*Bastaria viscosa*), tuna (*Opuntia caracasana*) y cují (*Prosopis juliflora*) [13].

Esta localidad forma parte del sector semiárido plano del Estado Falcón, donde el clima tiene un pluviotipo agresivo (lluvias de alta intensidad y baja duración), con precipitaciones de gran poder morfogenético y generalmente menores de 600 mm anuales distribuidas en unos pocos meses húmedos.

Las condiciones edafoclimáticas adversas determinan en la región una vegetación espinosa, con un bosque muy

abierto y de escasa cobertura vegetal; razón por la cual, son bajas las acumulaciones de materia orgánica y la actividad biológica, que se manifiesta sólo en la estación lluviosa [33].

Una importante parte del suelo (300 m² aproximadamente) en el área descrita se encuentra afectado considerablemente debido al vertido indiscriminado de aceite proveniente de un taller mecánico ubicado en su cercanía (donde efectúan cambio de aceite a los motores de automóviles). Para el estudio, las muestras de suelo fueron recolectadas en cuatro sitios diferentes, según el grado de contaminación, definido por la textura al tacto (evidenciando la presencia de aceite usado) y principalmente por la coloración; la cual indicaba la concentración de este contaminante. En consideración a lo expuesto anteriormente, se definió la siguiente nomenclatura: (S) suelo no afectado con aceite, de color beige arena; (A) suelo muy afectado con aceite, de color negro; (B) suelo medianamente afectado con aceite, de color marrón oscuro, y (C) suelo poco afectado con aceite, de color marrón claro.

De cada sitio se tomaron tres muestras compuestas a una profundidad de 0 a 20 cm, las cuales fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2 mm, previo a efectuar las diferentes determinaciones en el laboratorio. Este suelo, así como la mayoría de los suelos del estado Falcón, son de textura gruesa [1, 2] y el mismo fue caracterizado en el laboratorio como un suelo franco-arenoso de acuerdo al método de Bouyucos [19].

Los métodos empleados para la determinación de los parámetros físicoquímicos y el contenido total de metales pesados se resumen en la Tabla 1.

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey y se realizó una matriz de correlación entre el contenido de los metales pesados y los parámetros fisicoquímicos; empleando el paquete estadístico STATISTICA 10.

Tabla 1. Métodos empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y el contenido de metales, en las muestras de suelo no contaminado (control) y suelo afectado con aceite usado de motor.

| Parámetro | Método | Equipo | Ref. |
|--|---|--|------|
| pH | Potenciométrico con electrodo de vidrio combinado: 10 g muestra en 25 mL H ₂ O | pHmetro (Orión modelo 410) | [19] |
| CE (mS m ⁻¹) (Conductividad Eléctrica) | Conductimétrico: 10 g de muestra en 25 mL de H ₂ O | Conductímetro (Hidrolat) | [19] |
| COT (%) (Carbono Orgánico Total) | Walkley-Black modificado espectrofotometría visible: λ=600 nm | Spectronic 20 (Bausch & Lomb) | [25] |
| Metales Pesados: Cd, Cu, Pb y Zn (mg kg ⁻¹) | Digestión: 0,05 g de muestra +12 mL HNO ₃ concentrado (180°C/2 h) + 5 mL HClO ₄ | Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Varian AA 240) | [14] |

Resultados y discusión

Para el estudio, se seleccionaron como parámetros importantes pH, CE y COT, considerando las características típicas de los suelos de las regiones con clima árido y semi-árido (alcalinos, con deficiencias de materia orgánica y tendencia a la salinidad). En especial se determinaron pH y COT atendiendo la estrecha relación que estos guardan con la movilidad de los metales pesados en el suelo [27, 34]. En la Tabla 2 se presentan los valores promedios obtenidos para los parámetros fisicoquímicos tanto en la muestra del suelo no afectado (control) como en las del suelo afectado con el aceite (A, B y C).

Los valores de pH, CE y COT obtenidos para el suelo no afectado (S) evaluado en este estudio (pH= 7,65; CE= 1,13 mS m⁻¹; COT= 0,41%) son similares a los valores indicados para otros suelos naturales (no intervenidos) del estado Falcón en los sectores: El Taparo, Península de Paraguaná (pH= 8,06; CE= 0,09 mS m⁻¹; COT= 0,64%) [1] y La Negrita, Municipio Guzmán Guillermo (pH= 7,71; CE= 1,40 mS m⁻¹; COT= 0,46%) [2].

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de diez (10) suelos típicos de regiones semiáridas en España e Israel. Los valores de pH, CE y COT en estos suelos permite, de alguna forma, efectuar una comparación de las características generales de los suelos típicos de las regiones semiáridas; y aunque estos suelos se encuentran en áreas geográficas distintas, bajo condiciones de

temperatura y humedad diferentes, mantienen un intervalo de variabilidad dentro de un mismo parámetro, especialmente en lo correspondiente al pH y COT. A efectos del estudio, estos valores contribuyen a evidenciar que la muestra de suelo usada como control (S) tiene características similares.

En la mayoría de estos suelos, indicados como típicos de regiones semiáridas, los valores de pH superan en todos los casos la neutralidad, variando de 7,8 a 8,70; y entran en la clasificación de suelos alcalinos, no salinos con una CE << 4 mS m⁻¹ [8].

El suelo control usado en el estudio, en lo que al contenido de COT se refiere, se ubica como típico de estas regiones climáticas, cuyos valores son normalmente muy bajos (0,10 a 0,82%). Escasamente, sólo algunos suelos de los presentados en la Tabla 3 alcanzan valores > 1 (suelos 5 y 9 con valores de 1,15 y 1,30%, respectivamente) [20, 34]. Valores de COT menores de 1,5 para suelos de textura gruesa, son considerados bajos [19, 20].

En lo que respecta a las muestras de suelo A, B y C, afectados por el aceite de motor, los valores observados para COT y CE fueron mayores, en relación al suelo control; verificándose al mismo tiempo una disminución en el valor del pH con respecto a S, siendo mayor el valor obtenido para la muestra de suelo menos afectado (C) y mayor para la muestra de suelo más afectado (A). Los cambios en el pH de C con respecto a S no fueron significativos (p<0,05).

Tabla 2. Valores promedios (\pm desviación estándar, n= 3) obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en las muestras de suelo sano (S) y suelo afectado con aceite usado de motor (A, B y C).

| Parámetro | S | A | B | C |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| pH | 7,65 \pm 0,010 (a) | 6,95 \pm 0,015 (b) | 7,18 \pm 0,121 (c) | 7,50 \pm 0,056 (a) |
| CE (mS m ⁻¹) | 1,13 \pm 0,030 (a) | 5,80 \pm 0,438 (b) | 2,70 \pm 0,113 (c) | 1,50 \pm 0,234 (d) |
| COT (%) | 0,41 \pm 0,240 (a) | 3,18 \pm 0,760 (b) | 2,79 \pm 0,560 (b) | 1,93 \pm 0,170 (c) |

En los valores para cada parámetro, letras iguales indican igual significancia y letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre muestras. S: suelo no afectado con aceite usado de motor (control). A: suelo muy afectado con aceite usado de motor (negro). B: suelo medianamente afectado con aceite usado de motor (marrón oscuro). C: suelo poco afectado con aceite usado de motor (marrón claro).

Tabla 3. Resultados obtenidos en el análisis de algunos suelos típicos de regiones semiáridas (Adaptada parcialmente de Acosta *et al.* [1]).

| Parámetro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH | 8,55 | 8,70 | 8,15 | 8,1 | 8,2 | 7,99 | 7,8 | 8,1 | 8,2 | 8,03 |
| CE (mS m ⁻¹) | 0,16 | 2,00 | - | 7,80 | - | - | 0,28 | 0,15 | - | 3,79 |
| COT (%) | 0,50 | 0,33 | 0,81 | 0,53 | 1,15 | 0,54 | 0,10 | 0,53 | 1,15 | 0,82 |

Suelos: 1. Murcia. España (calcáreo) [11]. 2. España (calizo) [23]. 3. Valencia. España (franco arcilloso) [7]. 4. Murcia. España (calcáreo) [34]. 5. Bellatera. España (calcáreo franco arcilloso arenoso) [35]. 6. Murcia. España (torrifluent xérico franco arenoso) [20]. 7. Murcia. España (xeróllico calciorthids, franco limoso) [5]. 8. Murcia. España (calcáreo) [34]. 9. Bellaterra. España (calcáreo franco arcillo arenoso) [34]. 10. Israel (franco) [22].

Para la CE el efecto fue contrario y esta resultó, en orden decreciente, mayor para A y menor para C, verificándose diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores obtenidos para las muestras de suelo afectado en grado diferente (A, B y C) con respecto al control. El valor del COT se incrementó, lógicamente, con el nivel del vertido del contaminante en relación al control, tomando en cuenta que se adicionan en la misma proporción compuestos de carbono; siendo mayor, significativamente, el valor en A donde el vertido fue mayor.

El pH, la CE y el COT han sido considerados como indicadores de calidad de agua, uso y conservación del suelo, biodiversidad, hábitat y paisaje [24, 37]. El efecto producido en el suelo por el vertido del contaminante, reflejado en la variación en estos parámetros estudiados en los suelos A, B y C en relación al suelo control (S), se ve representado en la Figura 1.

Pese a la naturaleza alcalina del suelo en estudio, su pH disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en los sitios donde fue vertido el aceite en mayor cantidad (A y B). Otros investigadores han encontrado en experimentos de campo, en forma similar, que al adicionar a un suelo calcáreo una fuente orgánica, el pH disminuye [34] [36]. Estos autores indicaron, entre los posibles factores responsables de la reducción del pH, la producción de ácidos orgánicos y al incremento de la presión parcial de CO_2 en la atmósfera del suelo debido al incremento de la actividad microbiana del suelo.

Aunque se detecta una disminución del pH del suelo cuando es afectado por el aceite, su valor sigue estando muy cercano a 7 en el caso de A, y en los casos de B y C se mantiene por encima de 7; lo que reduce la posibilidad de un aumento en la disponibilidad de algunos metales pesados para ser absorbidos por la planta.

El incremento en el contenido COT fue mayor en A, siendo este valor aproximadamente tres veces mayor con respecto a S (control); pero en todos los casos donde el suelo fue afectado por el aceite este parámetro aumentó, lógicamente como consecuencia de los compuestos orgánicos incorporados al suelo. El COT, engloba un conjunto de compuestos orgánicos susceptibles a ser mineralizados, lo cual depende, por una parte, del tipo de material orgánico vertido; y por otra, de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al cual se adiciona. Cuando el carbono orgánico se mezcla en el suelo, este puede ser mineralizado, inmovilizado en las células microbianas, incorporado en la materia orgánica autóctona del suelo e incluso en algunos casos en que la actividad de los microorganismos del suelo es inhibida, puede permanecer tal y como ha sido incorporado [34, 35]. El seguimiento de éste parámetro es complementario para evaluar la biodegradabilidad de los materiales incorporados.

En lo referente a la evaluación del contenido total de metales pesados, en las diferentes muestras de suelo, los resultados se indican en la Tabla 4. El contenido total de los metales pesados evaluados (Cd, Cu, Pb y Zn) en las muestras de suelo afectado por el aceite usado de motor (A, B y C), en comparación con el suelo no afectado (S), resultó ser mayor en forma significativa ($p < 0,005$); siendo la relación para todos los metales: $A > B > C > S$.

La variabilidad en el contenido de metales se observa en la Figura 2, verificándose valores altos para la muestra de suelo con la presencia de más cantidad del aceite usado de motor (A) seguido, en forma decreciente por la muestra de suelo medianamente afectado por este material contaminante (B) y luego por la del suelo poco afectado (C). Los valores obtenidos en las muestras de suelo contaminado en relación al control (S) se asocia, probablen-

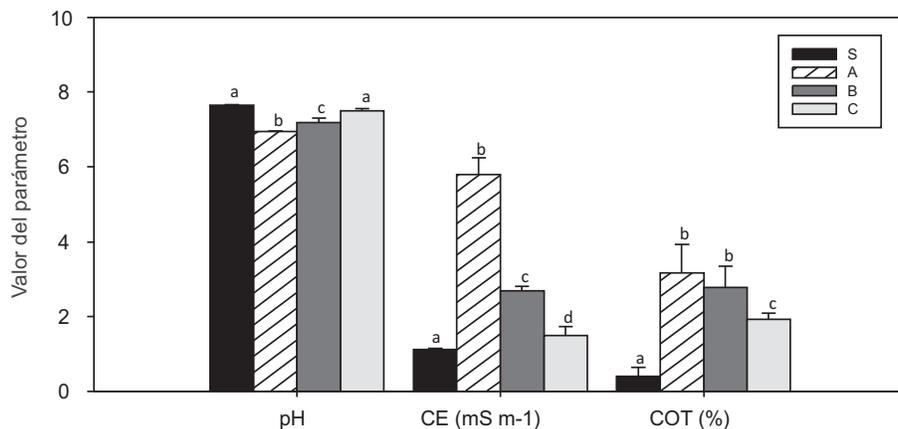


Figura 1. Variación en los valores promedio obtenidos para los parámetros físico químicos en las muestras de suelo control (S) y suelo afectado con aceite usado de motor ($A > B > C$). En cada parámetro, letras iguales indican igual significancia y letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Las barras de error representan \pm la desviación estándar para $n = 3$.

Tabla 4. Valores promedios (\pm desviación estándar, $n=3$) obtenidos para los metales pesados (mg kg^{-1}) en las muestras de suelo control (S) y suelo afectado con aceite usado de motor (A, B y C).

| Metal | S | A | B | C |
|-------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Cd | <5 (a) | 11,67 \pm 2,87 (b) | <5 (a) | <5 (a) |
| Cu | 13,33 \pm 2,89 (a) | 120,00 \pm 8,66 (b) | 73,33 \pm 2,89 (c) | 36,67 \pm 2,87 (d) |
| Pb | <5 (a) | 430 \pm 39,05 (b) | 376,67 \pm 15,28 (c) | 191,67 \pm 2,87 (d) |
| Zn | 68,33 \pm 2,89 (a) | 200,00 \pm 21,79 (b) | 183,33 \pm 27,54 (b) | 111,67 \pm 11,55 (c) |

En los valores para cada metal, letras iguales indican igual significancia y letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre muestras. S: suelo no afectado con aceite usado de motor (control). A: suelo muy afectado con aceite usado de motor (negro). B: suelo medianamente afectado con aceite usado de motor (marrón oscuro). C: suelo poco afectado con aceite usado de motor (marrón claro).

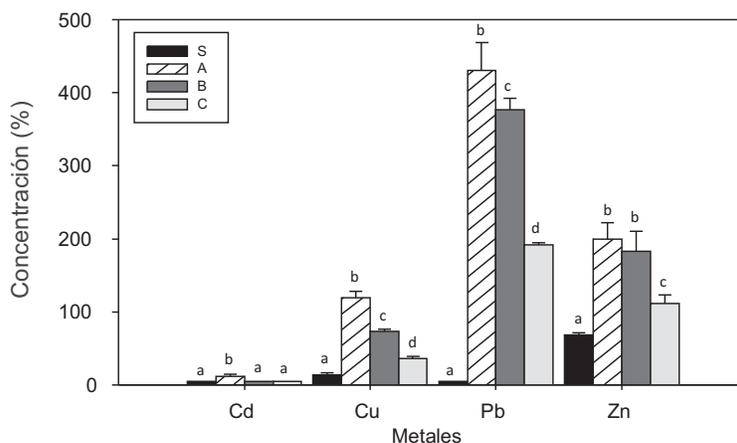


Figura 2. Variación en los valores promedios obtenidos para el contenido total de metales pesados en las muestras del suelo control (S) y suelo afectado con aceite usado de motor (A>B>C). En cada metal, letras iguales indican igual significancia y letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$). Las barras de error representan \pm la desviación estándar para $n=3$.

te, a las características fisicoquímicas del suelo y también a la textura del mismo.

En ninguna de las muestras evaluadas, para los metales Cu y Zn, se alcanzó el límite máximo permisible en el contenido de metales presentes en suelos con $\text{pH}>7$ a los cuales se han adicionado residuos orgánicos; al menos los indicados por la normativa española, la cual contempla: $\text{Cd}=3 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{Cu}=210 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{Pb}=300 \text{ mg kg}^{-1}$ y $\text{Zn}=450 \text{ mg kg}^{-1}$ [12].

En el caso de A y B, el contenido de Pb superó los límites indicados en las normas internacionales (Tabla 5). Considerando que la concentración total media para Pb, Cd, Cu y Zn supera los límites señalados; la presencia de estos metales en el suelo puede representar riesgos potenciales, no solo para la actividad microbiana del suelo [38], sino también generar fitotoxicidad a los cultivos [6, 21, 23, 29]. La movilidad de estos metales en el suelo, se puede agrupar en el siguiente orden: $\text{Cu} < \text{Pb} < \text{Zn} < \text{Cd}$ y existen factores del suelo que influyen sobre esta movilidad, entre los cuales están la textura, la superficie específica, el contenido de sesquióxidos libres en el suelo y su pH [27]. El caso del Pb es realmente relevante ya que el resultado

obtenido para las muestras de suelo contaminado (A, B y C) indicó valores muy elevados.

El pH es posiblemente el más importante, en el sentido que de él depende la ocurrencia de reacciones de solubilización, precipitación, disociación de ácidos y bases y formación de complejos con la materia orgánica [8]. La ocurrencia y el predominio de una u otra de estas reacciones es lo que finalmente gobierna la presencia de estos elementos en la solución del suelo, y en consecuencia, su disponibilidad para los cultivos [27].

Aunque también se ha señalado, que las reacciones de acomplejamiento con especies orgánicas realmente modifican el comportamiento de estos elementos en la solución del suelo [34, 39]. Es importante señalar que algunos investigadores sostienen que la mayor parte de los metales pesados contenidos en un suelo, se encuentran asociados a su fracción orgánica, lo cual permite explicar que la mineralización de los compuestos orgánicos gobernará las posibilidades de acción de esos elementos en el suelo [43].

El análisis estadístico indicó una correlación altamente positiva entre el contenido de Cd y Pb (altamente tóxicos para las plantas y animales) y el COT para todas las mues-

Tabla 5. Límites máximos de concentración (mg kg^{-1}) en el contenido total de metales pesados en suelos establecidos en distintos países.

| País | Ley (Referencia) | Tipo de Suelo | pH | Cd | Cu | Pb | Zn | |
|---|--|-----------------|---------|----------|---------|--------|------------|-----|
| Alemania (European Comission, 2002) [9, 10, 30] | Protección de Suelo BBoShG/1999 | Arcilloso | | 1,5 | 60 | 100 | 200 | |
| | | Limoso | | 1,0 | 30 | 70 | 150 | |
| | | Arenoso | | 0,4 | 100 | 40 | 60 | |
| | Ordenanza Lodos AbfKlâV/1992 | | 5,5-7,0 | 1,5 (1)* | 60 | 100 | 100 (150)* | |
| | LABO (Valores de referencia para reciclar compost) | Arcilloso | | | 1 | 60 | 75 | 120 |
| | | Limoso | | | 0,3 | 30 | 50 | 90 |
| Arenoso | | | | 0,3 | 3 | 15 | 15 | |
| Chile | Norma lodos Nch2952c-2004 [26] | Macrozona Norte | >6,5 | 2,0 | 150 | 75 | 175 | |
| | | Macrozona Norte | <6,5 | 1,25 | 100 | 50 | 120 | |
| | | Macrozona Sur | >5 | 2,0 | 75 | 50 | 175 | |
| UE | | | | *1-3 | *50-140 | *5-300 | *150-300 | |
| Francia | Directiva 86/278/EEC [4, 9, 31, 42] | | | 2,0 | 100 | 100 | 300 | |
| Italia | | | | 1,5 | 100 | 200 | 300 | |
| España | | | | 0,4 | 40 | 40 | *100-150 | |
| Turquía | Ley Ambiental 2878-1983 | | >5 | 3 | 100 | 100 | 300 | |
| Australia | Norma Australian Standard AS 4454-1999 [3] | | <5 | 1 | 100 | 150 | 200 | |
| US | [16, 31] | | | 20 | 750 | 150 | 1400 | |
| Canadá | [16] | | >6 | 1,6 | 100 | 60 | 220 | |

*Valor más bajo para suelos arenosos debido a su vulnerabilidad.

tras de suelo contaminado (A, B y C). La correlación de estos metales con el pH resultó altamente negativa. Para A (muestra más contaminada) se obtuvo un coeficiente de correlación (r) entre el contenido de Pb y el del COT igual a 0,897 y para Pb y el pH el valor de r fue igual a $-0,922$.

Conclusión

Como consecuencia del vertido indiscriminado del aceite usado proveniente de motores de combustión interna en el suelo evaluado, se obtuvieron valores para el contenido total de los metales pesados, que resultaron ser significativamente ($p < 0,05$) más altos en todas las muestras de suelo afectado (A > B > C) con respecto al suelo no contaminado (S) o control; verificándose la siguiente para el contenido total de metales: $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd}$ para cada una de las muestras. En A (muestra de suelo más contaminada), el valor obtenido para Pb superó los límites legales establecidos en diferentes países.

Los valores obtenidos para la CE y el COT en A, B y C también fueron mayores, significativamente, en relación al suelo no contaminado (S), guardando la relación:

$\text{A} > \text{B} > \text{C} > \text{S}$. El pH, al contrario, resultó menor en las muestras contaminadas y la relación fue inversa. Estadísticamente, el contenido de Pb se correlacionó negativamente con el pH y positivamente con el COT; indicando una supuesta compensación de los efectos de estos parámetros en lo que respecta a la disponibilidad de los metales en el suelo.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las altas concentraciones de estos metales, especialmente de Cd y Pb, en las muestras contaminadas indican riesgos potenciales para: a. La actividad microbiana del suelo responsable de los procesos de mineralización de la materia orgánica; afectando la disponibilidad de los nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas. b. El desarrollo de algunos cultivos debido a la fitotoxicidad por metales limitando las posibilidades de este suelo de ser usado con fines agronómicos, y c. Las reservas de aguas subterráneas, las cuales (considerando que se trata de un suelo franco arenoso) pueden contaminarse por lavado y percolación de estos contaminantes.

Por otra parte, debe considerarse el peligro ambiental que supone la falta de control en la disposición final de es-

tos residuos tóxicos, así como el incumplimiento de las normativas establecidas para los establecimientos que los generan. Ante el problema, es evidente la necesidad que existe de elaborar propuestas ecológicas que impliquen mecanismos de remediación para estos suelos degradados; además de procedimientos tecnológicos viables y ambientalmente aceptables para la disposición final, reutilización y/o reciclaje del aceite usado considerado como un residuo peligroso.

Referencias

- [1] ACOSTA, Yudith; PAOLINI, Jorge; FLORES, Saúl; EL ZUAHRE, Maziad; REYES, Nicolás; GARCÍA, Hendrina (2008). Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. **Multiciencias**. 8 (extraordinario): 39-47.
- [2] ACOSTA, Yudith (1995). Aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el mejoramiento del suelo. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Mg Sc. en Ciencias Ambientales. Universidad del Zulia (LUZ). 93 p.
- [3] ARMCANZ/ANZECC (2000). Guidelines for Direct Land Application of Biosolids and Biosolids Products. Australia.
- [4] BOE (Boletín Oficial del Estado) (1990). Número 262. Real Decreto 1310/1990, España.
- [5] BERNAL, M.; NAVARRO, A; SÁNCHEZ-MONEDERO, M; ROIG, A.; CEGARRA, J. (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. **Soil Biol. Biochem.** 30 (3): 305-313.
- [6] BEESLEY, Luke; DICKINSON, Nicholas (2011). Carbon and trace of element fluxes in the pore water of an urban soil following greenwaste compost and biochar amendments, inoculated with the earthworm *Lumbricus terrestris*. **Soil Biol. Biochem.** (43); 188-196.
- [7] CANET, R.; POMARES, F.; ESTELA, M.; TARAZONA, F. (1998). Efectos de diferentes enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo de un huerto de cítricos. **Agrochimica**. 42 (1-2): 41-49.
- [8] CASANOVA, Eduardo (1996). **Introducción a la Ciencia del Suelo**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Caracas. Venezuela. Litopar C.A. 379 p.
- [9] COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (CCE) (2002). Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Disponible en: www.europarl.eu.in
- [10] COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA (CEE) (1976). Directiva 76/464/CEE relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la comunidad. Bruselas, Bélgica. 5pp.
- [11] COSTA, Francisco.; HERNÁNDEZ, Teresa; GARCÍA, Carlos; AYUSO, Miguel; PASCUAL, José; POLO, A. (1992). Efecto residual de diferentes residuos orgánicos sobre un cultivo de cebada. **Suelo y Planta**. 593-601.
- [12] COSTA, Francisco.; HERNÁNDEZ, Teresa; GARCÍA, Miguel; POLO, A. (1991). **Residuos orgánicos urbanos. Manejo y Utilización**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. España. 181 p.
- [13] COMISIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (COPLANARH) (1975). Inventario Nacional de Tierras. Costa Nor-occidental, Centro Occidental y Central (Entidad Natural: Península de Paraguaná). Vol. II. pp. 726-759. COPLANARH. Ministerio de Obras Públicas (MOP). Caracas. Venezuela.
- [14] DÍAZ-BURGOS, M.; CECCANTI, B.; POLO, A. (1993). Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. **Biol. Fertil. Soils**. 16: 145-150.
- [15] DORRONSORO, Carlos (2006). Degradación del suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Disponible en: www.edafologia.ugr.es/conta/tema10/degra.htm
- [16] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1992). Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol. 1: metals.
- [17] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITES NATIONS (FAO) (1985). Wastewater treatment and use in agriculture. Irrigation and drainage. (47): 125.
- [18] FLOREZ, Carlos (2001). Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión. En: **Escenarios y Estrategias**. Bogotá. Nº 8. p. 28-32.
- [19] FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP) (1990). **Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad)**. Serie D. Nº. 26. Escuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. FONAIAP. UCLA, Maracay. 206 p.
- [20] GARCÍA, Carlos; HERNÁNDEZ, Teresa (1996). Organic matter in bare soils of the mediterranean region with a semiarid climate. **Arid Soil Res. Rehab.** 10: 31-41.
- [21] GARCÍA, Inés (2006). Contaminación del suelo e impacto ambiental. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Disponible en: www.edafologia.ugr.es/conta/tema11/concep.htm
- [22] HAN, F.; BANIN, A. (2000). Long term transformations of Cd, Co, Cu, Ni, Zn, V, Mn, and Fe in the native arid-zone soils under saturated condition. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 31: 943-957.
- [23] HECMAN, J.; ANGLE, J.; CHANEY, R. (1987). Residuals effects of sewage sludge on soybean. I. Accumulation of heavy metals. **J. Environ. Qual.** 16: 113-117.
- [24] HERNÁNDEZ, Teresa.; GARCÍA, Carlos; COSTA, Francisco; VALERO, José y AYUSO, Miguel (1992). Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. **Suelo y Planta**. 2: 373-383.
- [25] INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA (UCV) (1993). **Cuadernos**

- de **Agronomía**. Año 1. Nº 6. UCV. Maracay, Venezuela. 89 p.
- [26] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN) (2004). Norma uso de lodos y Norma Chilena Compost- clasificación y requisitos. Disponible en: www.inn.cl
- [27] KORTE, N.; SKOPP, J.; FULLER, W.; NIEBLA, E.; ALESH, B. (1976). Trace element movement in soils. Influence of soil physical and chemical properties. **Soil Sci.** 122 (6): 350-357.
- [28] LOVELL, B.; TOOMBS, M.; BLACKIE, M.; SCHEIHAUF, J. (1998). Land application of sewage biosolids for crop production. Disponible en: www.gov.on.ca:80/OMAFRA/english/environment/facts/95-069.
- [29] LUQUE (1995). Activity of enzymes in rhizosphere and non-rhizosphere soils amended with sludge. **Soil Biol. Biochem.** 19:203-205.
- [30] Mc.GRATH, S.; CHANG, A.; PAGE, A.; WITTER, E. (1994). Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and United States. **Environment rev.** (2): 108.
- [31] MARMO, I. (2003). Heavy metals in the context of EU policies on soil and waste. European Commission, DG Environment. Disponible en: www.europa.eu.int.
- [32] MARTÍN PANTOJA, José L.; MATÍAS MORENO, Pilar (1995): ¿Qué se hace en España con los aceites usados?. **Revista de Ingeniería Química.** (309): 113-117.
- [33] MOGOLLÓN, L.; COMERMA, J. (1994). **Suelos de Venezuela**. Edit. Ex. Libris, C.A. Caracas. Venezuela. 316 p.
- [34] MORENO, José.; HERNÁNDEZ, Teresa; GARCÍA, Carlos (1999). Effects of a cadmium-contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. **Biol. Fertil. Soils.** 28: 230-237.
- [35] ORTIZ, O.; ALCANIZ, J. (1994). Respiration potential of microbial biomass in: a calcareous soil treated with sewage sludge. **Geomicrobiol. J.** 11: 333-340.
- [36] O'CONNOR, G.; KNUDSEN, K.; CONNELL, G. (1986). Phosphorus solubility in sludge amended calcareous soils. **J. Environ. Qual.** 15: 308-312.
- [37] PASCUAL, J. (1995). Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de los suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. (España).
- [38] PÉREZ-DE-MORA, Alfredo; BURGOS, Pilar; MADEJÓN, Engracia; CABRERA, Francisco; JAECKEL, Petra; SCHLOTTER, Michael (1995). Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals effects of plant growth and different amendments. **Soil Biol. Biochem.** 38 (2):327-341.
- [39] RIVERO, Carmen (1999). **Materia Orgánica del Suelo**. Revista Alcance 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 211p.
- [40] SOIL SURVEY STAFF (1975). Soil taxonomy. Agricultural Handbook 436. U.S. Govt. Printing Office. Washington, DC.
- [41] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) (1995). Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Laboratory Information Manual. National Soil Survey Center, Soil Survey Laboratory, Soil Survey Investigations Report 45.
- [42] UNIÓN EUROPEA (UE) (2004). Disponible en: www.europarl.eu.int
- [43] ZUNINO, H.; AGUILERA, M; CAIOZZI, M.; PERIANO, P.; BORIE, F; MARTIN, J. (1979). Metal binding organic macromolecules in soil. **Soil Sci.** 128: 257-263.