

## ANÁLISIS ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN CON PLOMO Y RIESGOS DE ENVENENAMIENTO EN TRUJILLO, VENEZUELA

**Freddy ARANGUREN Z**  
*Universidad de Los Andes–Trujillo*  
*Venezuela.*

### RESUMEN

Un total de 93 muestras de suelo fueron recogidas de solares y del frente de las casas a lo largo de las calles de la ciudad de Trujillo, Venezuela, para determinar su concentración de plomo, los riesgos potenciales de envenenamiento de la población expuesta y los patrones de su distribución espacial. Los niveles de plomo encontrados en las adyacencias de las calles están entre 140 y 4180 mg/g y promedian 1032 mg/g, dos veces el valor considerado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), como de riesgo para la salud física y mental de los seres humanos (600 mg/ g). Los niveles obtenidos en los suelos de los patios traseros de las viviendas oscilan entre los valores extremos 0 y 2000 mg/g, promediando 80 mg/g. Claramente, la magnitud del contenido de plomo a lo largo de las calles, frente a las casas, es mayor que en los solares. Esto sugiere que el contribuyente mayor de la carga de plomo en los suelos de Trujillo son las emisiones automovilísticas. La distribución geográfica del plomo en las calles, se presenta de manera fortuita, aunque está grandemente influenciada por las características del tráfico vehicular pendiente arriba y por la localización de las paradas de autobuses.

**Palabras clave:** plomo, contaminación, envenenamiento, emisiones, distribución espacial.

## **SPATIAL ANALYSIS OF LEAD CONTAMINATION AND RISK OF POISONING IN TRUJILLO, VENEZUELA**

### **ABSTRACT**

A total of 93 soil samples along roadways and backyards were collected in Trujillo, Venezuela, to determine lead concentration, potential risks of poisoning for exposed population, and patterns of spatial distribution. The levels of lead found along city-streets range from 140 to 4180 mg/g, and average 1032 mg/g, which is twice the value established by the United States Environmental Protection Agency (EPA) to be harmful to humans. The levels of lead obtained from backyard soils range from 0 to 2000 mg/g and average 80 mg/g. Obviously, the magnitude of lead along streets in front of homes is higher than lead in backyard situations. This suggests that the greatest contributor to the burden of lead in soils is the automobile exhaust. The geographic distribution of lead along streets appears at random, but it is greatly influenced by the characteristics of the vehicular up the hill traffic and the location of the bus stops.

**Key-Words:** lead, contamination, poisoning, spatial distribution, emissions.

### **INTRODUCCIÓN**

El plomo se encuentra disperso en el medio ambiente como un resultado de la industrialización y de la urbanización. Él no tiene valor fisiológico conocido en el cuerpo humano (Centers for Disease Control, 1991; Miller et al, 1983) y ha sido considerado uno de los problemas de toxicidad con mayor cantidad de fuentes contaminantes. Debido a que el plomo es un metal pesado, resistente a la corrosión, es virtualmente indestructible en el ambiente (US Senate, 1990; Body et al, 1991).

El envenenamiento con plomo es considerado un problema de salud pública en muchos países, incluyendo los Estados Unidos, ya que permanece relativamente estable en el suelo mientras su concentración se incrementa con el tiempo (Lessler, 1988; Brinkmann, 1994 b). Por años, el plomo ha sido una gran amenaza para la salud de los seres humanos, ya que sus componentes están entre las sustancias que fueron y aún son utilizadas para desarrollar e incrementar la efectividad de modernas tecnologías, con el propósito de mejorar los productos con base de plomo que son de uso común entre las personas (Aslam, 1979).

Altos niveles de plomo son encontrados en suelos cercanos a las calles en los lugares urbanos, especialmente cuando su principal fuente es la emisión proveniente de automóviles usando aditivos de plomo en la gasolina (Mmari et al, 1991; Silbergeld, 1990 y Romieu et al, 1992). Por lo tanto las personas, especialmente los niños, que viven en las proximidades de esos sitios, son afectadas por estas peligrosas concentraciones, distribuidas en el espacio urbano y que son capaces de causar, entre otras afecciones, deterioro en la audición, incapacidad para la lectura y el aprendizaje, desarrollo cognoscitivo retardado, osteoporosis, fallas renales, complicaciones cardiovasculares, anemia, desórdenes gástricos, insomnio, alta presión arterial, pesadillas e inestabilidad emocional (Moehr et al, 1993; Joyce, 1990; Mushak, 1992; Landrigan and Curran, 1992).

Este trabajo discute los niveles de contaminación con plomo en los suelos adyacentes a las calles de Trujillo, una ciudad relativamente pequeña localizada al suroeste de Venezuela. El estudio compara los niveles de plomo obtenidos directamente de las calles, con aquellos provenientes de los patios traseros de las residencias cercanas, mostrando el patrón espacial y las concentraciones del metal, en relación con variables tales como volumen del tráfico automotor, pendientes, dirección del tráfico y la localización de las paradas de autobuses. La magnitud de la contaminación ayudará a determinar el riesgo potencial para los

residentes cercanos a las calles y para los usuarios de las vías. La investigación se considera significativa porque es el primer intento para medir la distribución y significación de la polución con plomo en Trujillo y es, igualmente, relevante para Venezuela donde poco se conoce sobre la realidad de este problema y acerca de sus incidencias sobre las personas expuestas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Hipótesis:**

La hipótesis de este estudio es que los niveles de plomo en los suelos adyacentes a las calles de la ciudad de Trujillo son significativamente mayores que aquellos encontrados en los patios de las casas. Esta premisa está basada en trabajos desarrollados por Romieu et al (1992) en la Ciudad de México; Medina y Urdaneta (1993) en la parte norte de la ciudad de Maracaibo, Venezuela; Lau y Wong (1982) en Hong Kong; Zindahi y Skogerboe (1977); Mielberg et al (1980) en Maryland y por García-Miragaya (1984) en suelos cercanos a las calles de Caracas, Venezuela.

Ellos detectaron una correlación importante entre concentraciones crecientes de plomo en suelos de las calles y la densidad de tráfico de vehículos, mostrando que los niveles de plomo eran mayores en los cascos antiguos de las ciudades y cerca de las vías de comunicación. Igualmente, los suelos al frente de las casas mirando hacia las calles, tuvieron niveles de plomo más elevados que aquellos no adyacentes a ellas.

### **El Área de Estudio**

La ciudad de Trujillo se localiza en la porción central del Estado Trujillo, en los Andes Venezolanos, en el municipio Trujillo, en la zona de transición entre la región montañosa sur-sureste y las tierras planas del oeste.

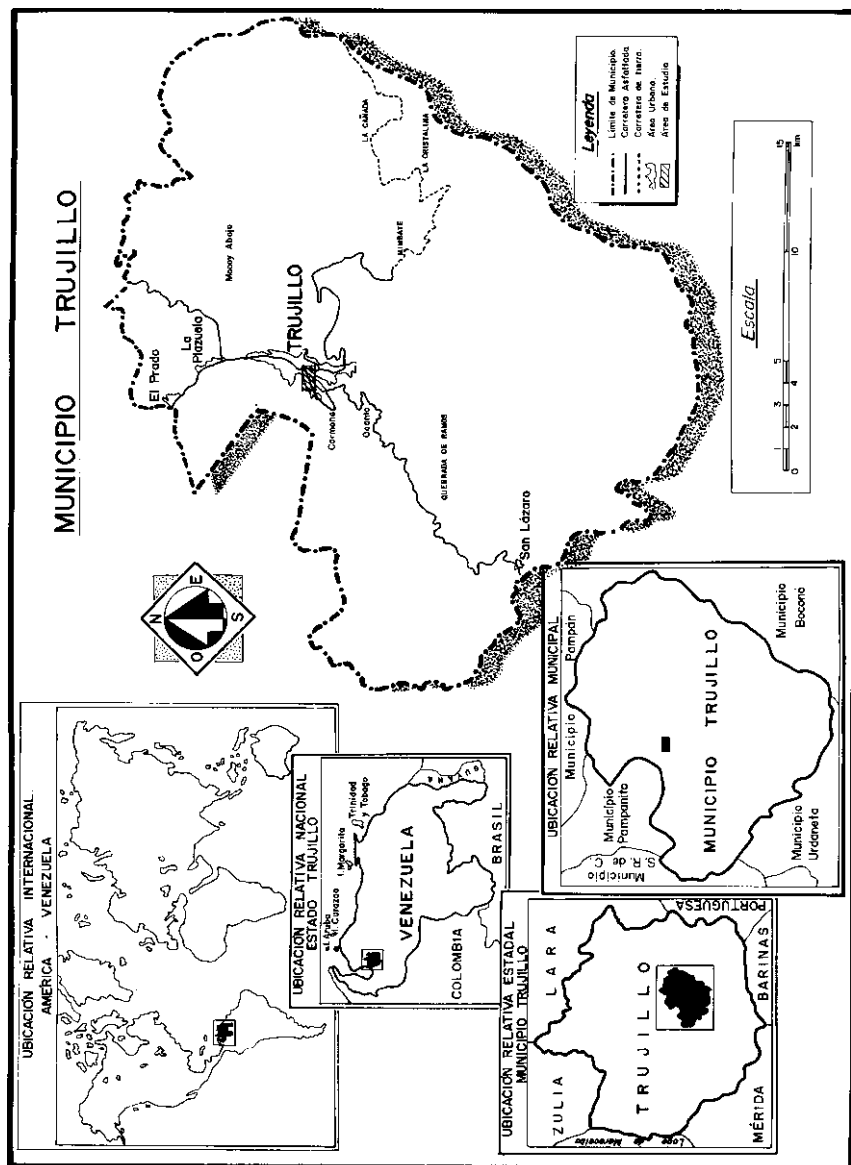


Figura 1. Ubicación Relativa del Área de Estudio.

La ciudad está asentada aproximadamente a 900 metros sobre el nivel del mar sobre un relieve abrupto e irregular, típico de montaña y atravesada por el estrecho valle del Río Castán. Las vertientes que bordean el centro urbano de Trujillo alcanzan pendientes mayores al 40%, aunque gran parte de la ciudad ha sido desarrollada a lo largo de depósitos de origen cuaternario, cuyas pendientes son moderadas.

En general, los suelos son delgados y muy erosionados por las fuertes lluvias, las pendientes y la acción humana. Muchos sectores del área metropolitana de Trujillo son cruzados por numerosos arroyos de comportamiento torrencial y su diseño urbano se caracteriza por la existencia de plazas centrales y un patrón de calles tipo red. Para 1990, Trujillo tenía 57.846 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional cercana al 13.5% y ofrece un magnífico ejemplo para el estudio de problemas ambientales por causa de su tamaño, su compactación relativa y su rol como capital del estado.

### **Estrategias para el Muestreo**

Las muestras de suelo fueron recogidas de entre los tres a cinco centímetros superiores de los suelos de las calles (a) y solares (b) de la ciudad, durante la segunda semana del mes de noviembre de 1995. El área de muestreo incluyó la parte central de la ciudad, la cual es también la más antigua, a lo largo de la Avenida Independencia (pendiente arriba) y la Avenida Bolívar (pendiente abajo), calculando un intervalo para determinar los puntos de muestreo en un mapa base. Noventa y tres muestras fueron tomadas de entre las grietas y acumulaciones de sedimentos sobre el pavimento. Los sitios muestreados en los solares, estaban localizados en un rango de 10 a 15 metros del lado de la calle.

### **Proceso Analítico**

Luego de preparadas las muestras de suelo, según procedimiento descrito por Brinkmann (1994 a) y Gilbert y Doctor

**GEOENSEÑANZA. Vol.4-1999(2).** p. 273-292. Análisis Espacial de la Contaminación con Plomo y Riesgos de Envenenamiento en Trujillo, Venezuela. **ARANGUREN.**

(1985), que consiste en secado con aire, molidura suave y cernido a 1mm para homogeneizar el grano, fueron sometidas al proceso de extracción del plomo, de acuerdo con técnicas empleadas por Hamilton (1980), Davies (1989) y Brinkmann (1994 a). La extracción consistió en oxidación de la materia orgánica, remoción de partículas, liberación de metales, remoción del plomo y conversión a una solución ácida para ser medido por Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), la cual es efectiva para detectar plomo a un nivel de 0.1 mg /ml (Hamilton, 1980).

### **Proceso Estadístico**

La distribución espacial de la contaminación con plomo es el interés primario de esta investigación de carácter geográfico. Los geógrafos utilizan técnicas variadas para organizar, recopilar y describir datos espaciales numéricos (Barber, 1988). El análisis estadístico fue hecho usando medidas seleccionadas de Tendencia Central, Dispersión o Variabilidad y Regresión, según descripciones realizadas por Ary et al (1990), Shaw y Wheeler (1985) y Barber (1988). Las estadísticas fueron hechas usando la Versión 5.0 de Microsoft Excel.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La media aritmética de los valores de plomo en suelos de Trujillo es aproximadamente 500 mg/g, valor muy cercano a la concentración en suelos de 600 mg/g considerada como el límite, a partir del cual ellos pueden contribuir a producir un nivel de plomo en la sangre mayor que 5 mg/ dL. Este nivel ha sido calificado como altamente tóxico para los niños menores de 12 años de edad, por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 1983).

Este criterio de la EPA es compartido por el Centro para el

Control de Enfermedades de los Estados Unidos (Centers for Disease Control, 1985) y por el Departamento de Salud del Estado de New Jersey (Madhavan et al, 1989). Este organismo recomienda el máximo nivel permisible de plomo en suelos, basado en las respuestas de los niños (nivel en sangre), según la edad y la concentración en el suelo. Bajo estos standards, la relación plomo en suelo y plomo en sangre, es la siguiente:

1. Un máximo de 250 ppm de plomo en suelos, es recomendado en áreas sin cobertura vegetal (grama) y que son usadas repetidamente por niños menores de cinco años. Esta concentración puede añadir cerca de 2 mg/dL a su sangre.
2. Un máximo permisible de 600 ppm de plomo en suelos, es recomendado en áreas usadas repetidamente por niños por debajo de 12 años de edad. Este nivel puede añadir, al menos, 5 mg/dL en su sangre.
3. Un máximo permisible de 1000 ppm de plomo en suelos, es recomendado en áreas tales como parques industriales, a lo largo de calles y autopistas, o en otras áreas no frecuentadas por los niños. Aunque en estos lugares no se espera que los niños jueguen, no existe garantía de que esto sea realmente así. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta las posibilidades de migración del plomo fuera de estos sitios, en los zapatos o ropa de los adultos.

La media aritmética de los valores de plomo en suelos de Trujillo, está cercana a los 500 mg/ g, lo que indica un importante nivel de contaminación, de acuerdo con los criterios señalados. Un 13% de las muestras de suelo contienen entre 0 y 250 mg /g. El 14% tiene niveles de plomo que van desde 250 hasta 600 mg /g; 31% tienen niveles entre 600 y 1000 mg /g; y 13% contienen más de 1000 mg /g. Estas concentraciones son consideradas peligrosas para las personas, particularmente para los niños.



### **Plomo en Patios Traseros**

Cuarenta y ocho muestras fueron tomadas de los patios traseros de las casas de Trujillo: 23 de la Avenida Independencia y 25 de la Avenida Bolívar. El 68.75% de las muestras contienen 0 mg /g y sugiere un bajo potencial para envenenamiento con plomo en esos lugares. En este set de datos sólo cuatro muestras contienen aproximadamente 500 mg /g y sólo dos muestras contienen más de 1000 mg /g.

Los niveles de plomo en esta población varían entre 0 y 2000 mg /g, siendo los ceros el valor más representativo, porque ellos constituyen casi las  $\frac{3}{4}$  partes de ella. La media es de 80 mg /g y es mucho más pequeña que el nivel mínimo de plomo contenido en los suelos que ha sido considerado peligroso para las personas (600 mg /g).

### **Plomo en las Adyacencias de las Calles**

Un total de 45 muestras se recolectaron de las adyacencias de las calles de Trujillo: 21 en la Av. Independencia y 24 en la Av. Bolívar. Los niveles de plomo a los lados de las calles van desde 140 mg /g, en la Avenida Bolívar, hasta 4180 mg /g, en la Avenida Independencia, con una media de 1032 mg /g.

### **Comparación de la Distribución Espacial de los Niveles de Plomo de las Calles y de los Solares**

La hipótesis de esta investigación establece que los niveles de contaminación con plomo en los suelos de las calles de Trujillo son mayores que aquellos de los suelos de los patios traseros de las casas. El resultado de la Prueba T es  $3 \times 10$  elevado a  $-8$ , el cual desde un punto de vista estadístico es altamente significativo. Esto quiere decir que los rangos de contenido de plomo entre ambos sectores son diferentes. De hecho, sólo seis de las muestras adyacentes a las calles presentaron valores iguales a cero (13.33%), mientras que hay 33 ceros en el conjunto de datos correspondientes a los solares (68.75%).

Los valores para los suelos frente a las casas van desde cero hasta 4180 mg /g, con una media de 1032 mg /g y con un 66% de las muestras conteniendo niveles de plomo por encima de 500 mg / g, un nivel de riesgo de envenenamiento muy alto. En cambio, solamente un 8% de las muestras tomadas en las partes traseras de las casas tienen un contenido sobre los 500 mg /g. Estas cifras indican la presencia de muy elevadas y peligrosas concentraciones de plomo en los suelos a lo largo de las calles de Trujillo, particularmente en sitios adyacentes a las vías y también demuestran la validez de la hipótesis alternativa. La **Figura 2** presenta los niveles de plomo encontrados en los sitios muestreados del área de estudio, en la ciudad de Trujillo.

De acuerdo con los datos mencionados, las emisiones automovilísticas es probablemente la fuente de contaminación con plomo más importante de los suelos de la ciudad. No debería ser olvidado que este estudio está basado en datos obtenidos de un país donde por décadas los *tetraalcoholes, como el tetraetilo de plomo*, han sido usados como aditivos antidetonantes en la gasolina; donde una alta proporción de automóviles está en condiciones precarias de funcionamiento, incrementando el poder contaminante de las emisiones, y donde el consumo per-cápita de gasolina es relativamente alto, debido a los bajos precios de la misma (Aranguren, 1996).

La acumulación de plomo en suelos contiguos a las calles es un resultado de la concentración del metal suspendido en el aire y es una fuente potencial de polvo con plomo dentro de las casas a lo largo de las Avenidas Independencia y Bolívar. Hafen (1992) expresó que el polvo de los suelos es transportado al interior de las casas por animales domésticos, adherencia a la ropa y a la piel y, también, por la acción del viento. Entonces, el plomo es ingerido, de manera no intencional por niños en contacto con juguetes y alimentos contaminados o cuando juegan sobre superficies plomizadas.

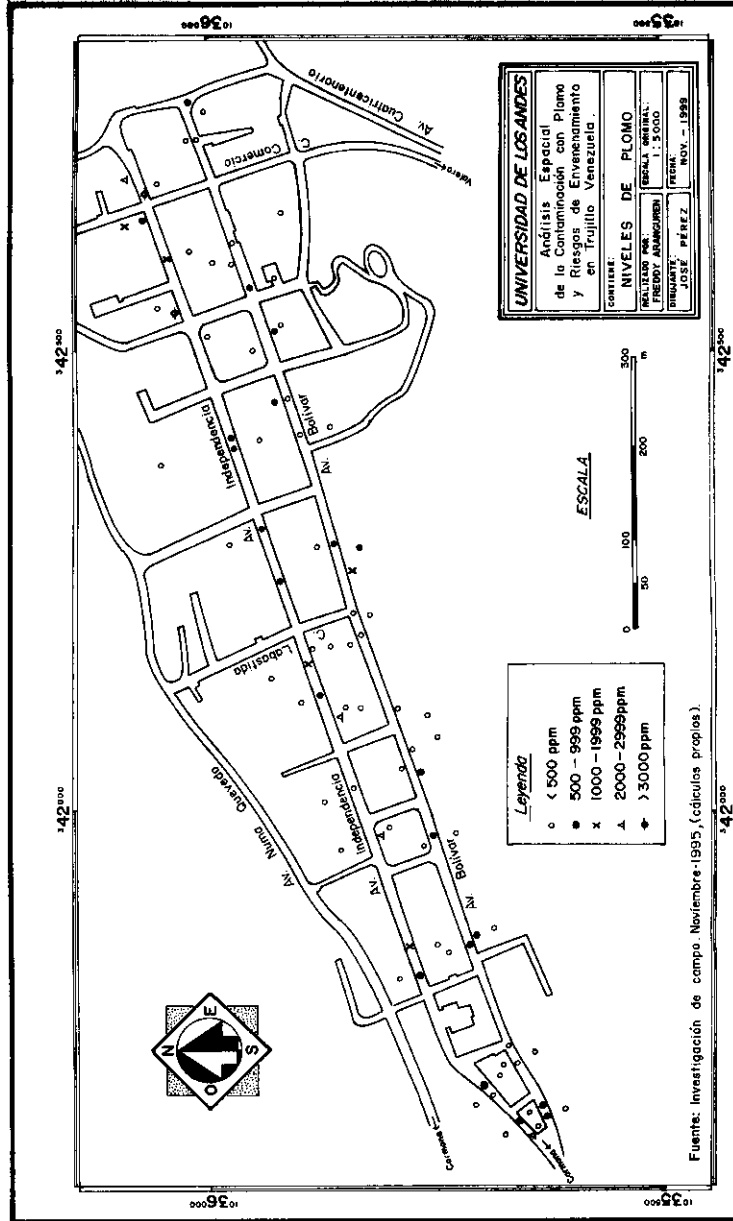


Figura 2. Niveles de Plomo en los sitios muestreados.

Romieu et al (1992) reportaron que los niños que viven cerca de calles con alta densidad de tráfico o en una residencia próxima a una vía principal, están más expuestos al plomo que aquellos niños que viven cerca de pequeñas calles en zonas residenciales. Al mismo tiempo, no sólo las viviendas de Trujillo están bajo riesgo de contaminación; también los usuarios de las calles están severamente amenazados por el potencial tóxico del plomo. La absorción progresiva del polutante, por parte de residentes o usuarios de estas áreas contaminadas, puede producir elevadas concentraciones en la sangre y una alta frecuencia de síntomas de envenenamiento.

### **Magnitud de la Contaminación**

La magnitud de la contaminación con plomo en Trujillo puede ser estimada considerando los niveles máximos permitidos por el CDC, para aquellas áreas no frecuentadas por niños. Así, un nivel de 1000 m /g podría ser permisible en áreas donde no se espera que los niños jueguen o visiten a menudo, pero hay en Trujillo 15 sitios de muestreo con valores sobre 1000 m /g de plomo y otros 17 que presentan concentraciones de plomo que van desde 600 hasta 1000 m /g. Estos sitios son contiguos a viviendas, escuelas, parques infantiles y otros lugares públicos frecuentados por niños. Estas muestras de suelo contaminado constituyen cerca de 1/3 de la colección total de muestras recogidas en la ciudad.

Los datos anteriores indican que Trujillo tiene un grave problema de contaminación con plomo, el cual es incrementado por el uso continuo de la gasolina con aditivos del metal en vehículos y, además, porque esta es una región tipificada por una creciente población joven, lo cual incrementa las potencialidades de envenenamiento. No fueron observadas concentraciones de plomo esperadas en ciertas áreas o puntos de muestreo de la ciudad; por el contrario, los niveles elevados del metal están distribuidos de manera fortuita en toda el área de estudio sin responder, aparentemente, a un patrón de distribución espacial determinado, exceptuando aquel relativo a la deposición del plomo contenido en el aire.

### **Concentración de Plomo y Volumen de Tráfico**

Otros trabajos de esta naturaleza han sido desarrollados en Venezuela: Burguera et al ( 1988 y 1989) reportaron que hay una alta correlación entre contenido de plomo en suelos y volumen de tráfico en la ciudad de Mérida, Venezuela, una ciudad con un diseño urbano similar al de Trujillo y detectaron que hay acumulaciones de plomo mucho mayores en suelos provenientes de sitios con alta actividad de vehículos automotores (> 7000 vehículos por día); Medina y Urdaneta (1993) encontraron que los suelos en el área norte de Maracaibo, la segunda ciudad de Venezuela, con el tráfico más pesado, han acumulado la mayor concentración de plomo.

Un análisis de regresión fue realizado para determinar si existe correlación entre el contenido de plomo en suelos y la distancia desde los sitios de muestreo hasta el punto de mayor volumen de tráfico, el cual es la Plaza Bolívar de Trujillo, en el centro de la ciudad, en las esquinas con las Avenidas Independencia y Bolívar (7544 vehículos /día) (Newsome et al, 1997). Asumiendo que las emisiones de automóviles constituyen el principal plomo-contaminante en la ciudad de Trujillo, era de esperarse una disminución de su efecto similar al del patrón de tráfico de vehículos (menor al alejarse de la Plaza Bolívar). Sin embargo, las estadísticas de regresión muestran un coeficiente de determinación igual a 0.0096, muy pequeño para ser estadísticamente significativo. De la misma manera, el coeficiente rata de variación de los niveles de plomo (una medida de la distancia desde el área de mayor volumen de tráfico) es de 0.00003.

Estos resultados no indican correlación alguna entre los valores de plomo obtenidos en los puntos de muestreo de las calles, respecto a su distancia de la Plaza Bolívar. No se observa ninguna tendencia relevante de niveles de plomo decrecientes, a medida que la distancia se incrementa y no hay evidencia, entonces, de que los niveles de plomo en los sitios de muestreo sean dependientes de la concentración de tráfico vehicular.

### **Contaminación y Pendiente del Suelo**

La pendiente puede ser un importante factor para explicar las condiciones de la contaminación con plomo, especialmente si se considera que la movilidad del metal en los suelos superficiales es influenciada por su grado de inclinación (Miller et al, 1983; Zimdahl and Skogerboe, 1977). Hafen (1992) encontró en Tampa, USA, una correlación positiva entre los valores de plomo y las pendientes, notando que fue difícil determinar si esto es causado por erosión de los suelos, por patrones de deposición aérea, o por alguna combinación de fenómenos. No obstante, por causa de la erosión, el plomo depositado pudo haber sido transportado más lejos debido a la inclinación, causando un incremento general de las concentraciones del metal en las partes más remotas, en una zona de deposición en la base de la cuesta.

Trujillo, a pesar de su empinada topografía, no sigue un patrón igual a éste. Los datos indican que aunque valores de plomo extremadamente altos, tales como los 4180 mg /g de la muestra 7<sup>a</sup>, los 2000 mg /g de la muestra 6b y los 1220 mg /g de la muestra 4<sup>a</sup>, fueron encontrados en las partes más bajas del área de estudio, no fue observada ninguna tendencia de que los valores disminuyeran de manera sustancial pendiente arriba. De hecho, concentraciones muy altas fueron encontradas en las partes más elevadas del área (2720 mg /g de la muestra 40 a; 2600 mg /g de la muestra 42 a; 2080 mg /g de la muestra 35 a). Para confirmar esto, los valores de regresión de 0.0023 y 0.005, que no son significativos, corroboran que los niveles de plomo en los sitios de muestreo son independientes de la pendiente del suelo.

La correlación entre pendiente y contenido de plomo de suelos en Trujillo requiere de un reconocimiento posterior más amplio. Existe la posibilidad de que sitios con elevadas concentraciones del metal sean influenciados por la escorrentía proveniente de las vertientes adyacentes, ya que fuertes pendientes en Trujillo se presentan en varias direcciones y no sólo en dirección oeste-este

### **Distribución de la Contaminación y Dirección del Tráfico**

Algunos estudios han demostrado que el monto de plomo emitido es un resultado del incremento del consumo de combustible debido al aumento de la velocidad del vehículo (Habibi, 1970). Es esperado, entonces, que los automóviles tengan un mayor consumo de gasolina cuando van en dirección pendiente arriba. La diferencia de los niveles de contaminación entre la Avenida Independencia y la Avenida Bolívar es ilustrada por los intervalos de confianza al 95% para ambas medias aritméticas.

El promedio de las concentraciones de plomo en la Av. Independencia (pendiente arriba) está en el intervalo 818 y 1539 mg /g (1441 mg /g) y para la Av. Bolívar está entre 385 y 669 mg /g (607 mg /g). Se concluye que los niveles de contaminación en la Av. Independencia son mayores que aquellos detectados en la Av. Bolívar, como consecuencia de un consumo de gasolina más elevado en aquella, por una mayor exigencia del motor para efectos del ascenso del vehículo. Las varianzas (0.0931 y 0.0751) en ambas vías son similares, lo que indica que estos resultados son estadísticamente válidos.

### **Distribución de la Contaminación con Plomo y Localización de las Paradas de Autobuses**

Mmari et al (1991) reportaron que los cruces de vía, paradas de autobuses y otras áreas de las ciudades caracterizadas por congestionamiento de tráfico, tienen altos niveles de plomo. Este factor refiere a la congestión de tráfico excesiva, especialmente a las horas "pico", cuando el consumo de gasolina es mayor. Considerando que Trujillo es una ciudad relativamente pequeña, una gran mayoría de los trabajadores regresan a sus casas para almorzar al mediodía y regresan a trabajar en el segundo turno.

Este movimiento es responsable del uso creciente de vehículos particulares y de transporte público en la región central de la ciudad, donde se concentra la mayor proporción de las actividades

comerciales y de oficina. Las continuas paradas y arranques incrementan el potencial de peligrosas descargas de plomo, especialmente en Venezuela donde no hay un sistema gubernamental para controlar las emisiones de los automóviles.

Quince paradas de autobuses fueron detectadas en el área de estudio: siete en la Av. Independencia y ocho en la Av. Bolívar. El promedio de contenido de plomo de 25 sitios muestreados, localizados lejos de las estaciones de autobuses, fue 840 m /g. El promedio de los 14 sitios de muestreo localizados frente a las paradas de autobuses fue de 1404 m /g.

El promedio de plomo en las muestras procedentes de las cercanías de las paradas en la Av. Independencia fue 2160 m /g, el cual es más de dos veces mayor que el de la Av. Bolívar, que fue 837 m /g. Estos valores reflejan un elevado nivel de contaminación en esos sitios, así como también un serio riesgo de envenenamiento potencial para los usuarios frecuentes de las paradas de autobuses y para los residentes cercanos a ellas.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Altos valores de plomo fueron encontrados en las adyacencias de las calles de Trujillo. Los niveles van desde 0 m /g hasta 4180 m /g y promedian aproximadamente 500 m /g, un valor considerado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) perjudicial para las personas y contaminante del ambiente. Cerca del 45% de las muestras contienen más de 600 m /g, el nivel máximo de plomo en suelos permisible por el Centro de Control de Enfermedades de ese país (CDC), en áreas de uso continuo por niños menores de 12 años.

Se encontró que los niveles de contaminación en los suelos



adyacentes a las calles son mayores que aquellos encontrados en los suelos de los patios posteriores de las casas. Esto apunta al escape de los carros como la fuente más probable de contaminación con plomo en los ambientes de las calles de la ciudad de Trujillo, por causa del uso continuo de aditivos de plomo en la gasolina y a la acumulación del metal en tales suelos urbanos. No hay por los momentos tendencias observables de concentraciones espaciales de altos niveles de plomo en determinadas zonas de Trujillo. Los valores mayores están distribuidos de manera fortuita a través de toda el área, lo cual sugiere que los patrones de la distribución espacial de la contaminación varían con diferentes factores.

Niveles de plomo que indican un alto riesgo potencial para las personas, fueron encontrados ampliamente distribuidos en suelos de las calles de la ciudad. Ellos son el producto de muchos años de uso de gasolina con base de plomo. De este estudio se desprende que el plomo depositado en los suelos de la ciudad es extremo y que la absorción progresiva del metal por residentes y usuarios de las zonas contaminadas, puede producir elevados niveles de plomo en la sangre y el consecuente envenenamiento.

Esta investigación ha reconocido muchos sitios de peligro en Trujillo. Las amenazas a la salud asociadas con altos niveles de plomo son serias y demandan atención del gobierno, investigadores, sectores médicos, industria petrolera y de la población trujillana. En ausencia de un tratamiento eficaz ante la toxicidad del plomo, la prevención se afianza como el método más efectivo para evitar las dolencias derivadas del envenenamiento, a la par de que el uso continuado del plomo como un aditivo de la gasolina debe ser reconsiderado, a la luz de su contribución a la exposición global.

Más allá de regulaciones oficiales, hay muchas otras vías para reducir la exposición de los niños al plomo. Programas educativos comunitarios sobre medidas de control pueden ser diseñados. Esto incluye información documental acerca de los efectos potencialmente

adversos del plomo y de los productos industriales, con base de plomo, sobre la salud pública.

Entre las recomendaciones derivadas de esta investigación están las siguientes: evaluar la comunidad a riesgo; entrenar personal médico y reconocer casos de envenenamiento; inspección amplia de plomo en suelos, vegetación y agua; minimizar los niveles de exposición en áreas contaminadas; crear una base de datos de factores relativos a la contaminación con plomo; producir estadísticas en los centros asistenciales; equipar centros de análisis toxicológicos; legislar en el nivel local acerca del funcionamiento del tráfico y sus problemas derivados; desarrollar infraestructura y tecnología con el apoyo de los sectores público y privado con la finalidad de contribuir a la investigación sobre el plomo y a la detección de personas envenenadas; desarrollar monitoreos sistemáticos de los problemas del plomo, para determinar la eficiencia de cualquier medida de control o corrección.

### **REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS**

ARANGUREN, F. (1996). *The Spatial Distribution of Lead Contamination in Roadside Soils of Trujillo City, Venezuela*. Master's Thesis. University of South Florida, Department of Geography, Tampa, Florida, USA, 110 p.

ASLAM, M.; Davis, S.S.; and HEALY, M.A. (1979). "Heavy Metals and some Asian medicines and cosmetics". En: *Public Health*, 93: 274.

BARBER, G. (1988). *Elementary Statistics for Geographers*. New York-London: The Guilford Press.

BODY, P.E.; Dolan, P.R.; and Mulcahy, D.E. (1991). "Environmental lead: a Review". En: *Critical Reviews in Environmental Control*, 20 (5): 299-310.

BRINKMANN, R. (1994 a). "Lead pollution in soils adjacent to homes in Tampa, Florida". En: *Environmental Geochemistry and Health*, 16 (2): 59-66.

BRINKMANN, R. (1994 b). "Lead pollution in soils in Milwaukee County Wisconsin". En: *Environment, Science and Health*, A29 (5): 909-919.

**GEOENSEÑANZA**. Vol.4-1999(2). p. 273-292. Análisis Espacial de la Contaminación con Plomo y Riesgos de Envenenamiento en Trujillo, Venezuela. **ARANGUREN**.

BURGUERA, J.L.; Burguera, M.; and Belandria, M. (1989). "The amounts of lead in roadside soil and some lichen species and their correlation with motor vehicles traffic volume". En: *Heavy metals in the Environment*, 2: 460-463.

BURGUERA, J. L.; Burguera, M.; and Rondon, C. (1988) . "Lead in roadside soils of Mérida City, Venezuela". En: *The Science of the Total Environment*, 77: 45-49.

Centers for Disease Control (1985). *Preventing lead poisoning in young children*. US Department of Health and Human Services Report: Atlanta, Georgia.

Centers for Disease Control (1991). *Preventing lead poisoning in young children*. US Department of Health and Human Services Report: Atlanta, Georgia.

DAVIES, B.E. (1989). "Data handling and pattern recognition for metal contaminated soils" En: *Environmental geochemistry and health*, 11: 137-143.

GARCÍA-MIRAGAYA, J. (1984). "Levels, chemical fractionation, and solubility of lead in roadside soils of Caracas, Venezuela". En: *Journal of Soil Science*, 138 (2): 147-152.

GILBERT, R.O. and Doctor, P.G. (1985). "Determining the number and size of soil aliquots for assessing particulate contaminant concentrations". En: *Journal of Environmental Quality*, 14 (2): 286-292.

HABIBI, Kamran (1970). "Characterization of particulate lead in vehicle exhaust: Experimental Techniques". En: *Environmental Science & Technology*, 4 (3): 239-248..

HAFEN, Mark (1992). *Analysis of lead in soils adjacent to I-275, in Tampa, Florida*. Master's Thesis in Geography, University of South Florida, Tampa. p. 1-137.

HAMILTON, E.I. (1980). "Analysis for trace elements II: instrumental analysis". En: *Applied soil trace elements*, Chichester, England: John Wiley and Sons.

JOYCE, Christopher (1990). "Lead poisoning lasts beyond childhood". En: *New Scientist*, 13:26.

LANDRIGAN, P.; and Curran, A. (1992). "Lead, a ubiquitous hazard". En: *Environmental Research*, 59: 279-280.

**GEOENSEÑANZA**. Vol.4-1999(2). p. 273-292. Análisis Espacial de la Contaminación con Plomo y Riesgos de Envenenamiento en Trujillo, Venezuela. **ARANGUREN**.

LAU, W. and WONG, H. (1982). "An ecological survey of lead contents in roadside dusts and soils in Hong Kong", En: *Environmental Research*, 28: 39-54.

MADHAVAN, S.; Rosenman, K. And Shehata, T. (1989). "Lead in soil: Recommended Maximum Permissible Levels". En: *Environmental Research*, 49: 136-142.

MEDINA, Blanca and Urdaneta, Hender (1993). "Traffic and lead pollution on Lake Maracaibo's western coast". En: *Coastal Zone '93*, 1: 915-930.

MILBERG, R.; Lagerwerff, J.; Brower, D.; and Biersdorf, G. (1980). «Soil Lead Accumulation Alongside a Newly Constructed Roadway». *Journal of Environmental Quality*, 9 (1): 6-8.

MMARI, J.; Wandiga, S.O.; Njenga, G.K.; and Nyatebe, J.O. (1991). "Lead contamination in street soils of Nairobi City and Mombasa Island, Kenya". En: *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 46: 782-789.

MOEHR, A.; Roberts, Daryl; Phillips, P.; and Evans, G. (1993). "Childhood lead poisoning near abandoned lead mining and smelting areas". En: *Journal of Environmental Health*, 53 (3): 20-23.

MUSHAK, P. (1992). "Defining lead as the premiere environmental health issue for children in America". En: *Environmental Research*, 59: 281-309.

NEWSOME, T.; Aranguren F. and Brinkmann, R. (1997). "*Lead Contamination Adjacent to Roadways in Trujillo, Venezuela*". En: *The Professional Geographer*, 49: 331-341.

ROMIEU, I.; Palazuelos, E.; Meneses, F.; and Hernandez, M. (1992). "Vehicular traffic as a determinant of blood-lead levels in children: a pilot study in Mexico City". En: *Archives of Environmental Health*, 47 (4): 246-249.

US Senate Committee on Environment and Public Works (1990). *Health Effects of Lead Exposure*. Hearing before the Subcommittee on Toxic Substances, Environmental Oversight, Research and Development. Washington, D.C.: US Government Printing Office.

ZIMDAHL, R. and Skogerboe, R. (1977). "Behavior of lead in soil". En: *Environmental Research and Technology*, 11 (13): 1202-1206.