

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA.

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES.

N I V E L E S D E C O N T A M I N A C I O N
A T M O S F E R I C A P O R P L O M O ,
E N L A C I U D A D D E G U A T E M A L A .

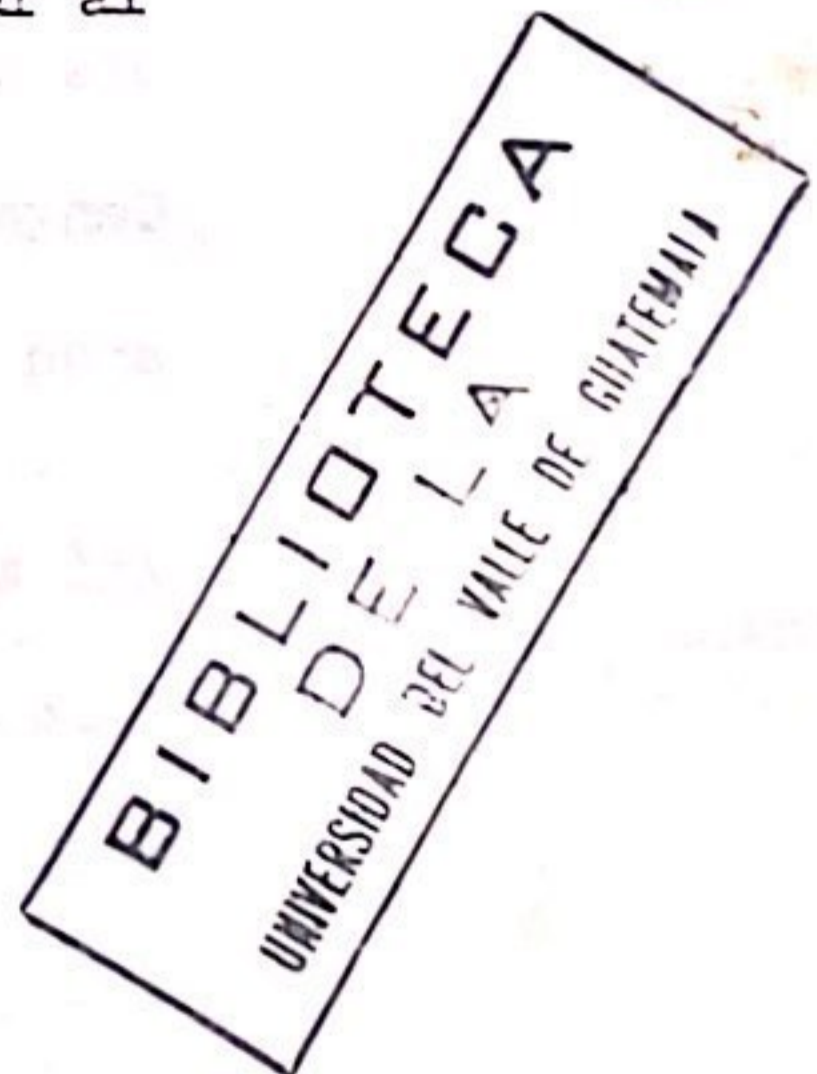
María Luisa Durando Gallo.

Trabajo de Tesis presentado para optar al

grado Académico de:

Licenciada en Química.

Guatemala, Mayo de 1980.



DEDICO

este trabajo a Dios, a quien debo y ofrezco
toda mi vida ; y a mis queridos padres
Octavio Durando y Marina de Durando.

AGRADEZCO

profundamente a todas aquellas personas que
colaboraron en el desarrollo y la elaboración
de este trabajo, especialmente a mi asesor:
Dr. Sergio Aragón, cuyas enseñanzas y con-
sejos me ayudaron a llevar a cabo el pre-
sente trabajo.

Deseo expresar mi gratitud al Ing. Miguel Ángel
Canga-Argüelles, cuyos sabios consejos me gui-
aron a través de todos mis estudios.

Así mismo agradezco inmensamente a mi compa-
ñero Dieter Boehm, quien con su constante op-
timismo y apoyo, me ayudó a seguir siempre
adelante en mi carrera.

Agradecimiento de Colaboración.

Agradezco: al Lic.Eduardo Robles (USAC) por su colaboración y en especial por proporcionar el medidor de flujo.

al Ing.Orson Lou (Texaco), quien amablemente proporcionó el Standard de TEL para el análisis de Plomo en gasolina.

A las personas que proporcionaron corriente eléctrica para llevar a cabo los muestreos de plomo en aire:

-Familia Jiménez

-Familia Tejada.

-Familia Larrieu.

-Hogar Juan XXIII.

-Oficina BASF.

-Estacionamiento Capitol.

Deseo agradecer especialmente a Mary Ann y Roberto Jiménez quienes amablemente me permitieron realizar los muestreos durante las 24 horas del día.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo...

GRACIAS !

1.-INDICE GENERAL DE CONTENIDO

	pág.
I. INTRODUCCION.	1
II. FUENTES Y EFECTOS DEL PLOMO ATMOSFERICO.	8
II.1.- Referencias sobre niveles de toxicidad y efectos dañinos de partículas y plomo en el aire.	8
II.2.- Proveniencia de partículas y de plomo en el aire, (Emisiones Automotrices).	18
III. SITUACION ACTUAL DE LA CONTAMINACION EN GUATEMALA	23
IV. METODOLOGIA.	30
IV.1.- Objetivos específicos.	30
IV.2.- Teoría sobre análisis de partículas en el aire.	31
IV.2.A.- Filtración	31
IV.2.B.- Parámetros de análisis en medición y muestreo.	35
IV.2.C.- Métodos de análisis de plomo.	39
IV.3.- Diseño experimental.	40
IV.3.A.- Equipo de muestreo	40
IV.3.B.- Parámetros en el muestreo de suelos y aire.	42
V. PROCEDIMIENTOS.	45
V.1.-Extracción de plomo y hierro de la tierra.	45
V.2.-Determinación del contenido de plomo en gasolina.	47
V.3.-Cuantificación del contenido de plomo y hierro en aire.	48
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.	50
VI.1.-Plomo en gasolina.	52
VI.1.A.-Cuadros de plomo en gasolina super y regular.	53
VI.1.B.-Discusión de niveles de plomo en gasolina.	61
VI.1.C.-Análisis estadístico de niveles de Pb, gasolina.	70
VI.2.-Niveles de plomo y hierro en tierras.	74
VI.2.A.-Cuadros de niveles de plomo y hierro, tierra.	75
VI.2.B.-Discusión de niveles de Pb en las tierras.	78
VI.2.C.-Análisis estadístico de Pb en las tierras.	87
VI.2.D.-Discusión sobre niveles de hierro en tierras.	91
VI.2.E.-Análisis estadístico de hierro en tierras.	94
VI.3.-Niveles de plomo y hierro en aire.	97
VI.3.A.-Cuadros de plomo y hierro en aire.	98
VI.3.B.-Discusión de plomo en aire.	108
VI.3.C.-Análisis estadístico de plomo en aire.	127
VI.3.D.-Discusión de niveles de hierro en aire.	130
VI.3.E.-Análisis estadístico de hierro en aire.	136
VI.3.F.-Discusión de partículas en el aire.	139
VI.3.G.-Modelo matemático de correlación entre vel. del viento y niveles de plomo en aire.	143

VII. POSIBILIDAD DE ESTUDIOS FUTUROS.	pág. 148
VIII. RECOMENDACIONES.	152
IX. APENDICES:	157
IX.1.-Análisis de plomo por medio de Absorción Atómica.	158
IX.2.-Método de calibración del medidor de flujo.	163
IX.3.-Cálculo de la eficiencia de recolección de filtros.	165
IX.4.-Soluciones Standard y Curvas de Calibración.	167
IX.5.-Análisis Estadístico, test t.	170
X. BIBLIOGRAFIA	171

ii. INDICE DE CUADROS.

	Pág.
#1 Fuentes principales de contaminación atmosférica.	3
#2 Biosíntesis de Heme, inhibición por plomo.	12
#3 Efectos de los niveles de Absorción de Plomo.	14
#4 Niveles de plomo en aire, y plomo en sangre.	15
#5 Reacciones de diferentes compuestos de plomo.	21
#6 Limitaciones de plomo en gasolina segun USEPA.	22
#7 Standards de calidad del aire, estudio de la municipalidad.	25
#8 Resultados del estudio de Robles, USAC. SO ₂ y polvo.	26
#9 Plomo en gasolina Super, variación: localidad y marca.	53
#10 Plomo en gasolina Super, variación: temporalidad y marca.	55
#11 Plomo en gasolina Regular, variación : localidad y marca.	57
#12 Plomo en gasolina Regular: variación por temporalidad y marca.	59
#13 Contenidos varios de plomo en gasolina super y regular.	61
#14 Contenido promedio de plomo en gasolina.	62
#15 Contenido de plomo en aire en New York.	63
#16 Variación de plomo en gasolina super, por temporalidad.	66
#17 Variación de plomo en gasolina super, por localidad.	67
#18 Variación de plomo en gasolina regular, por temporalidad.	68
#19 Variación de plomo en gasolina regular, por localidad.	68
#20 Análisis estadístico de plomo en gasolina Super.	72
#21 Análisis estadístico de plomo en gasolina Regular.	73
#22 Niveles de plomo en tierras de las calles.	75

	pág.
#23 Niveles de hierro en tierra de las calles.	76
#24 Contenidos de plomo mayores, menores y de referencia en tierra.	78
#25 Análisis estadístico de plomo en tierras.	89-90
#26 Contenido de hierro mayor, menor y promedio en tierras.	91
#27 Variaciones en la composición (Fe_2O_3) en algunos minerales.	92
#28 Análisis estadístico de hierro en tierras.	95-96
#29 Contenido de hierro y plomo en aire, muestreo de 11-1pm.	98-99
#30 Contenido de plomo y hierro en aire, 1º muestreo, 1 día.	102
#31 Contenido de plomo y hierro en aire, 2º muestreo, de un día.	104
#32 Niveles promedio de plomo en aire de las dif. localidades.	108
#33 Datos de la literatura de plomo en aire.	110
#34 Niveles de seguridad de Pb en aire, a largo plazo	113
#35 Análisis estadístico de niveles de Pb en aire, 1º muestreo.	127
#36 Análisis estadístico de niveles de Pb en aire, 2º muestreo.	128
#37 Contenido de hierro promedio en aire de dif. localidades.	130
#38 Datos de la literatura de hierro en aire.	131
#39 Análisis estadístico de hierro en aire, 1º muestreo.	137
#40 Análisis estadístico de hierro en aire, 2º muestreo.	138
#41 Partículas en suspensión en el aire.	139
#42 Límites de detección típicos para Absorción Atómica.	161
#43 Condiciones de trabajo del espectrofotómetro Perkin Elmer. 305B.	162

111. INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
#1 Eficiencia de Deposición de partículas en tres compartimientos del sistema respiratorio.	9
#2 Distribución de masa del Aerosol Atmosférico y eficiencia de retención de los pulmones.	9
#3 Eficiencia en la filtración de partículas.	34
#4 Equipo de Muestreo del Aire.	41
#5 Contenido de plomo en gasolina super, variación por localidad.	54
#6 Contenido de plomo en gasolina super, variación por temporalidad.	56
#7 Contenido de plomo en gasolina regular, variación por localidad.	58
#8 Contenido de plomo en gasolina regular, variación por temporalidad.	60
#9 Niveles de Pb y Fe en tierras de la calle, zona 1.	77
#10 Correlación entre Vel.Viento y niveles de Pb y Fe en aire	100
#11 Niveles promedio de Fe y Pb en aire de la zona 1.	101
#12 1° Muestreo de un día, correlación entre Fe y Pb, vel viento y peso de partículas en aire.	103
#13 2° Muestreo de un día, correlación entre Fe y Pb, vel viento y numero de vehículos.	105
#14 2° Muestreo de un día completo, correlación entre Pb y Fe, peso de partículas en suspensión, y Humedad Relativa.	106
#15 Niveles de plomo y hierro en aire en otros estudios.	107
#16 Diferenciación estadística de niveles de Pb y Fe en aire, 1° y 2° muestreo de un día completo.	129
#17 Esquemas de aparato de Absorción Atómica y Emisión de llama.	158
#18 Calibración del medidor de flujo	164
#19 Cálculo de la eficiencia de recolección de filtros nucleoporo.	166

RESUMEN GENERAL.

El objeto del presente trabajo es el de cuantificar la contaminación atmosférica por plomo y relacionarla con sus fuentes y efectos. Por lo tanto, se realizaron tres etapas cuyos resultados promedio se presentan a continuación:

1. etapa : niveles de plomo en gasolina super: 0.62 ± 0.08 g Pb/ l.
niveles de plomo en gasolina regular: 0.36 ± 0.14 g Pb/ l.

2. etapa : contenidos de plomo en tierras (zona 1): 247 ± 97 ppm
contenidos de hierro en tierras (zona 1): 13046 ± 2070 ppm

3. etapa : niveles de plomo en aire, muestreos a las 12 am:
 $1.84 \pm 0.91 \mu\text{g} / \text{m}^3$
niveles de plomo en aire, muestreos durante todo el día:
 $1.20 \pm 0.70 \mu\text{g} / \text{m}^3$

En vista de los altos niveles de Pb en gasolina y por consiguiente de los alarmantes niveles de plomo en aire, se vé la necesidad inmediata de estudiar más a fondo el problema de la contaminación ambiental presentando soluciones que nos permitan vivir en un mundo limpio y sano.

"Tomemos al mundo y su ambiente no como algo que hemos heredado de nuestros padres, sino como algo que hemos pedido prestado a nuestros hijos..."

I. INTRODUCCIÓN:

El aire es indispensable para que exista vida sobre la tierra. La adición de materia indeseable transportada por el aire tal como el humo y partículas de composición química variada, cambia y altera el equilibrio natural atmosférico perjudicando la vida sobre el globo terrestre.

Se define la contaminación atmosférica como: "La alteración no favorable de nuestros alrededores causada en su mayoría por productos y subproductos de las actividades del hombre. Estas alteraciones ocurren debido a los cambios en los patrones de energía del universo, niveles de radiación, cambios en la constitución física y química de la corteza terrestre y de la atmósfera, y cambios en las poblaciones de los seres vivientes. Estos cambios que se producen en el ambiente afectan al hombre directamente o a través del aire que respira, del agua que bebe, o de productos agrícolas y biológicos que ingiere. Afectan además sus posesiones materiales y su medio ecológico natural." (1)

La idea de que el aire contaminado puede ser perjudicial para el hombre, se remonta a la Edad Media (Siglo XI) cuando se empezaron a sentir molestias a causa de quemas que producían humos densos e irritantes. En el Siglo XII, el rey Eduardo II de Inglaterra mandó decapitar al operador de un horno de carbón debido a que el humo se introducía en los jardines reales. (2) Durante el reinado de Elizabeth I, se declaró como acto en contra de la ley, quemar carbón en Londres mientras el Parlamento estuviese reunido. (1) En el Siglo XIX se desarrollaron los ferrocarriles impulsados por la combustión del carbón, cuyas locomotoras despedían grandes cantidades de humo.

Según demuestra la historia de la contaminación atmosférica, hasta mediados del Siglo XIX la principal causa de la misma fué la quema de combustibles, entre ellos el carbón. Sin embargo, a fines del Siglo XIX aparecieron un sinnúmero de nuevas industrias textiles, metalúrgicas y otras, cuya fuerza motriz provenía de combustibles fósiles, los cuales contribuyeron a crear problemas de contaminación ambiental. Fue en esta época cuando se inventó el automóvil el cual se convirtió en una gran fuente de contaminación, especialmente después de 1923 año en que se introdujo el uso de gasolina con plomo.(3)

Los factores anteriores unidos a la expansión tecnológica e industrial del siglo XX, el rápido incremento de la población mundial, la tendencia a la urbanización y por lo tanto la presencia de núcleos de población con alta densidad demográfica, desembocaron en problemas de contaminación ambiental tales como la perturbación de la visibilidad, alteración de mecanismos meteorológicos de formación de niebla y reducción de cantidad de luz solar que llega a la tierra.(4)

Entre las fuentes de contaminantes atmosféricos pueden mencionarse las que se encuentran en el cuadro # 1. Dichas fuentes de contaminación (gases y partículas) provienen en gran parte de los procesos industriales relacionados con actividades humanas y, en menor escala, de ciertos factores naturales tales como el viento, polen, volcanes, y otros.

Entre los daños causados por estas fuentes de contaminación se encuentra el envenenamiento de los tejidos de las plantas ocasionado por metales.

CUADRO 1.

Fuentes principales de contaminación
atmosférica.

FUENTES PRIMARIAS:

- Vehículos automotores
- Industrias de papel
- Industrias metalúrgicas
- Refinerías de petróleo
- Industrias de químicos, fertilizantes y
productos sintéticos (pinturas, plásticos)
- Industrias alimentarias (procesadoras)
- Incineración de desechos sólidos
- Plantas generadoras de energía eléctrica
a partir de combustibles fósiles
- Calefacción de viviendas
- Industria de la construcción

FUENTES SECUNDARIAS:

- Polvo de tierra
- Rozas o quema de madera y hojas
- Recipientes atomizadores que producen aerosoles

Tomado de Moriber(1)

-4-

Estos metales en forma de partículas, al depositarse sobre las hojas, actúan de dos formas:

- bloquean los estomas interrumpiendo el intercambio normal de gases entre la hoja y el aire circundante
- al ser absorbidos por la planta afectan ciclos metabólicos internos produciendo así efectos dañinos generales. (5)(6)(7)

El "smog" fotoquímico blanquea las hojas de las plantas, el hidrocarburo etileno proveniente de los gases de escape de automóviles y motores diesel también causa daños irreparables a la vegetación.(4)

Entre los daños causados a los animales se encuentra el envenenamiento de ganado por compuestos de fluor, arsénico y plomo.(4) La precipitación de ciertos compuestos de estos elementos sobre el forraje que es ingerido por los animales, produce severos casos de envenenamiento y muerte. En los Estados Unidos se han efectuado estudios que relacionan la intoxicación y muerte de ganado por ingestión de plomo, el cual se encuentra depositado en haciendas cercanas a las supercarreteras. (8)(9) Se ha encontrado también que los pájaros que se alimentan de frutas y de lombrices , cerca de las supercarreteras, sufren de severos casos de intoxicación que pueden provocar la muerte.(10)

Los efectos dañinos de la polución ambiental sobre la salud del hombre, son muy variados y amplios; estos van desde efectos leves tales como síntomas molestos de irritación de ojos, reacciones a olores ofensivos e irritación de las vías respiratorias, hasta las enfermedades

crónicas de bronquitis, enfisema pulmonar y asma.(11) Si la exposición a los contaminantes se efectúa por largos períodos de tiempo, se pueden presentar efectos cumulativos de estos en el organismo y llegar incluso a causar la muerte.

La contaminación de la atmósfera con partículas y gases causa además corrosión y destrucción de bienes materiales y de innumerables recursos naturales. Los contaminantes acidificadores son la causa de muchos efectos perjudiciales tales como la corrosión de metales y el debilitamiento o desintegración de textiles, papel, mármol, etc. Los contaminantes en forma de partículas arrastrados a grandes velocidades por el viento, producen una erosión destructiva de las superficies de las construcciones.(4)

En años recientes se ha puesto mucho interés en el daño que pueden causar contaminantes atmosféricos que no se pueden ver. Se han establecido "standards" sobre la calidad del aire y se han implantado diversas estrategias para velar que las normas se cumplan. En los E.E.U.U., Japón y mayoría de países europeos, se ha legislado el control de la calidad del aire, teniendo cada uno de ellos sus propios "standards" internos. (12) Además de estas normas que regulan el contenido de contaminantes en el aire, existen por ejemplo en los Estados Unidos ciertos controles que regulan el contenido de plomo en gasolina. Debido al gran tráfico de vehículos en las grandes urbes, el consumo de gasolina es grande y por lo tanto también lo es la cantidad de contaminantes gaseosos y en forma de partículas que son expelidos a la atmósfera.

En las investigaciones realizadas sobre contaminación del aire, el término "partículas" incluye a las sustancias dispersadas en el aire que no son gases: polvo, partículas de humo, polen, insectos, iones y compuestos moleculares.

Se clasifican las partículas contaminantes básicamente por su tamaño en tres grupos:

1.- menores o igual de 0.1 micra

2.- de 0.1 a 1 micra

3.- mayores de 1 micra (13)

El grupo de partículas menores de .1 micra (p.ej. iones) nunca se depositan debido al movimiento browniano que las rige. Las partículas de .1 a 1 micra tienen su origen en la condensación de vapores y productos de combustión; estas se sedimentan muy lentamente y pueden permanecer en suspensión varios meses. Las partículas mayores de 1 micra, se depositan rápidamente y proceden de la aglutinación de partículas provenientes de la combustión, polvo y cenizas.

Para dar una idea de lo grave del problema de la contaminación atmosférica proveniente de partículas, se han hecho varios estudios en los cuales se llegó a los siguientes resultados: en los 10 años pasados, la atmósfera ha recibido

74 millones de Kg de cadmio

585 millones de Kg de cobre

4.3 billones de Kg de plomo

4.5 millones de Kg de nickel

3.3 billones de Kg de zinc (3)

Estas partículas provenientes de fuentes naturales y antropogénicas son removidas del aire por procesos de

- a.- sedimentación
- b.- lavado en el cual la lluvia precipita las partículas
- c.- impacto contra obstáculos debido a vientos
- d.- procesos de incorporación de partículas entre las gotas que forman las nubes (núcleos de condensación)(14)

Cuando entran grandes cantidades de contaminantes y de partículas al aire, estos procesos no son lo suficientemente rápidos para eliminarlos y como consecuencia se acumulan, obteniéndose niveles de concentración altos.

Las fuentes antropogénicas de producción de partículas son principalmente:

- 1.- Transportes: emisiones de vehículos
- 2.- Incineración: desechos y combustibles varios
- 3.- Emisiones Industriales
- 4.- Producción de energía termoeléctrica

El enriquecimiento de elementos (partículas) en aerosoles urbanos generalmente se relaciona con las fracciones de partículas más pequeñas, las cuales tienen significado en salud pública. Así, partículas de tamaños pequeños (generalmente compuestos de Sb,As,Br,Cl,Pb,Zn) provienen de fuentes de contaminación antropogénica, mientras que las grandes (compuestos de Al,Ca,Fe,La,Mg,Na,Ti) provienen de erosión de suelos, acción del viento, etc. (15) Los contaminantes en forma de partículas, además de ejercer efectos nocivos en nuestro ambiente, pueden obstaculizar la transmisión del calor del sol a la tierra, reflejando los rayos solares.

II. EFECTOS Y FUENTES DEL PLOMO ATMOSFÉRICO.

II.1.- Referencias sobre niveles de toxicidad y efectos dañinos de partículas y plomo en el aire contaminado.

Los efectos de las partículas contenidas en el aire contaminado, en la salud, se relacionan directamente con daños causados en la superficie del sistema respiratorio. Estas partículas, además de depositarse en los pulmones, pueden ser transportadas a la sangre, sistemas linfáticos y gastro-intestinales, causando anomalías en el funcionamiento del cuerpo humano. (11)

Se han realizado varios estudios que demostraron que las partículas inhaladas se depositan en diferentes lugares de las vías respiratorias, dependiendo de su tamaño y de su forma aerodinámica.(16) Esto se ilustra en la figura # 1, para tres diferentes regiones de las vías respiratorias.

Desde un punto de vista toxicológico las partículas menores de 1 micra son las que se depositan en la región pulmonar de las vías respiratorias y son de gran interés. (17) Esto se demuestra en las figuras # 1 y # 2. El que las partículas menores de 1 micra se depositen en la región pulmonar, se debe a que la eficiencia de absorción de especies tóxicas por el organismo, a partir de partículas pequeñas depositadas en la región pulmonar, es alta (60-80%); mientras que la eficiencia de absorción a partir de partículas más grandes las cuales se depositan en las regiones nasofaríngeas y traqueobronquiales, es baja (5-15%).(16)

FIGURA # 1

EFICIENCIA DE DEPOSICION DE PARTICULAS EN TRES COMPARTIMIENTOS DEL SISTEMA RESPIRATORIO. (16)

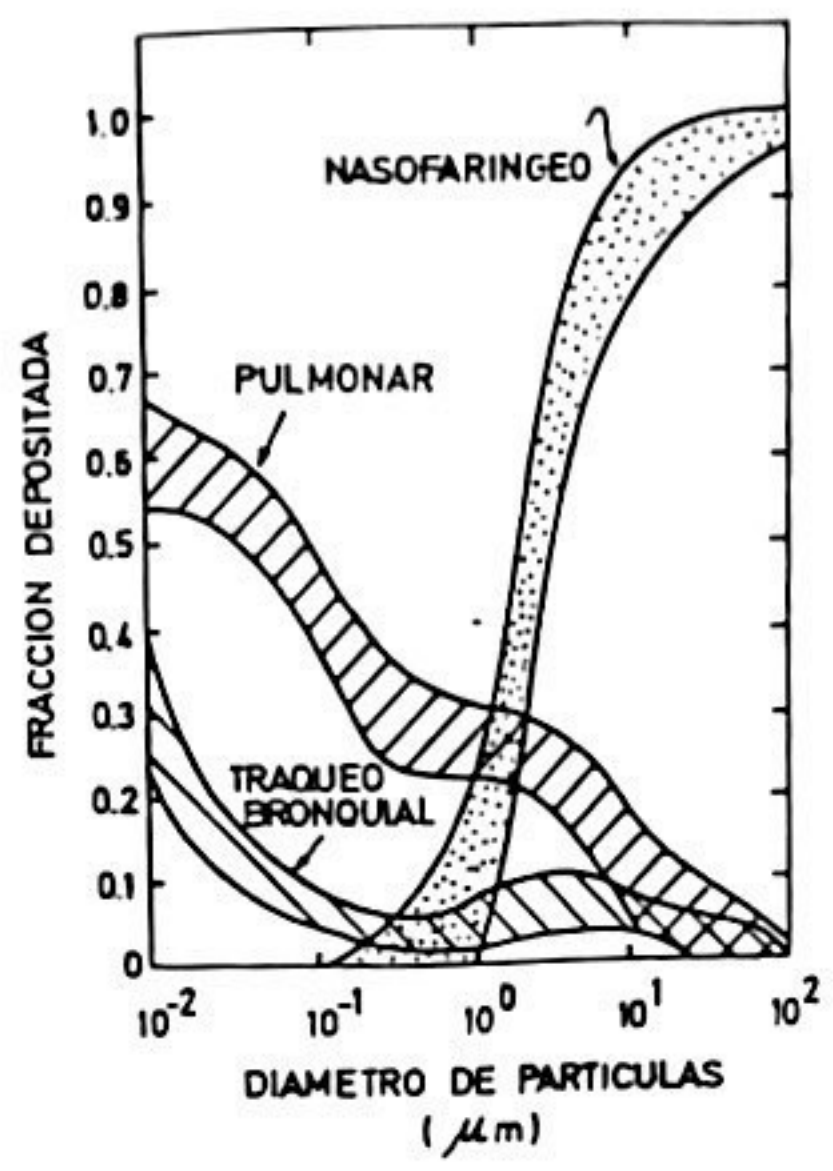
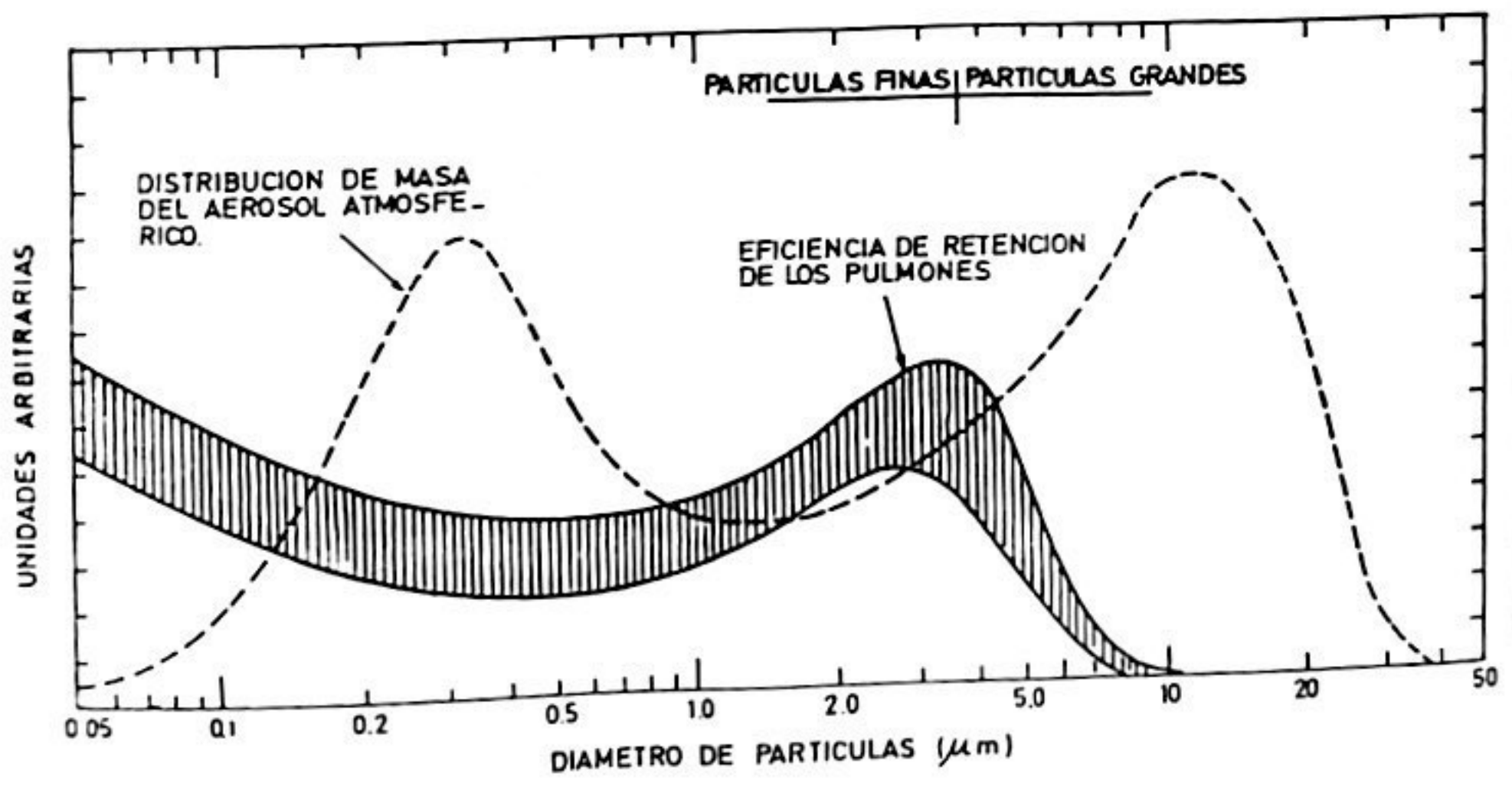


FIGURA # 2

DISTRIBUCION DE MASA DEL AEROSOL ATMOSFERICO Y EFICIENCIA DE RETENCION DE LOS PULMONES. (18)



¿faringe?

Las partículas grandes se trasladan a la faringe por acción de los cilios y luego de aquí son ingeridas o desechadas. Las partículas pequeñas tienen entrada a la corriente sanguínea en mayor proporción que las grandes. Se ha reportado que partículas de elementos tóxicos tales como Pb, Se, Sb, Cd, Ni, Sn, Zn, tienen diámetros menores de 1 micra; mientras que aquellas de Fe, Al, Si, tienen diámetros mayores de 1 micra. (16) En mediciones de tamaños de partículas contenidas en los aerosoles cercanos a las carreteras, el plomo resultó con un diámetro promedio de 0.7 micras. (19)

Al interferir las partículas con los procesos de limpieza de los pulmones, los hacen susceptibles a infecciones y a toda clase de problemas pulmonares. Hay evidencias que los contaminantes oxidantes, al interaccionar con partículas y luego introducirse en las vías respiratorias, producen cambios estructurales en las proteínas de los pulmones. (20) Estos cambios influyen en el envejecimiento y en los procesos degenerativos del pulmón, los cuales causan enfermedades crónicas tales como enfisema.

Hay varios tipos de efectos tóxicos causados por el plomo y que se conocen en general bajo el nombre de saturnismo:

- 1.- Cólicos gastro-intestinales
- 2.- Efectos en los sistemas nervioso central y periférico
- 3.- Anemia

Los trastornos gastro-intestinales se derivan de la absorción y acumulación gradual del plomo en la sangre y tejidos blandos. En el conducto gastro-intestinal, se forman sales de plomo solubles (cloruro, acetato, complejos) que son luego absorbidas. Así el plomo puede llegar

a depositarse en los riñones, hígado, páncreas, y en especial en los huesos donde se deposita como fosfato de plomo terciario insoluble. (21)

En el sistema nervioso se ven afectados tanto el cerebro como los nervios periféricos. La presencia del plomo en el cerebro se manifiesta por convulsiones y pérdidas del conocimiento.

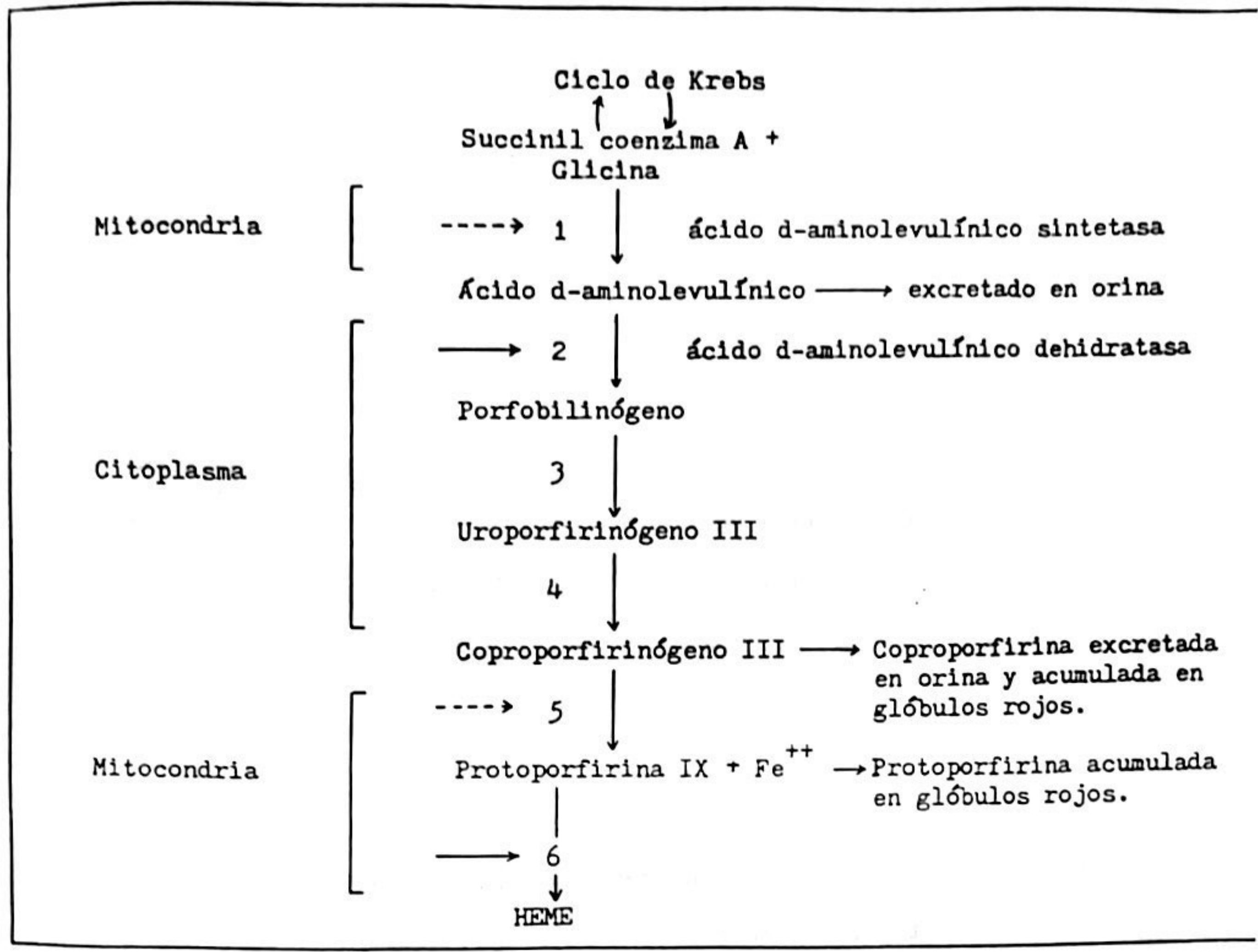
La anemia resulta de síntesis inadecuada de hemoglobina, así como de hemólisis anormal de los glóbulos rojos. La hemólisis anormal se ha supuesto que consiste en que las sales de plomo revisten los glóbulos rojos haciendo que su cubierta pueda romperse fácilmente.(11)

La síntesis inadecuada de hemoglobina resulta a partir de la acción inhibidora del plomo sobre enzimas que catalizan el ciclo de producción de la molécula de heme. Estas enzimas dependen de la presencia de grupos sulfidrilos (SH) libres, para su actividad. El plomo interacciona con estos grupos de tal forma que los hace poco disponibles para las enzimas que los necesitan para llevar a cabo la biosíntesis de la hemoglobina.(22) Este mecanismo puede visualizarse claramente en el cuadro # 2.

Concluyendo, una sola ingestión de plomo no origina los síntomas mencionados anteriormente, pero pequeñas cantidades inhaladas o ingeridas en un largo período de tiempo, pueden ser tóxicas. Los casos de intoxicación se deben a efectos cumulativos que producen altos niveles de plomo, los cuales sobrepasan los límites de tolerancia del organismo.

CUADRO 2.

Biosíntesis de Heme, inhibición por plomo. (22)



La biosíntesis del HEME, un constituyente de la hemoglobina, es inhibida por el plomo resultando una acumulación de ciertos intermediarios de este ciclo. De los seis pasos de este ciclo, el primero y los dos últimos se llevan a cabo en la mitocondria, mientras que los otros se llevan a cabo en el citoplasma. El plomo inhibe dos pasos (flechas sólidas) y puede que inhiba otros dos (flechas punteadas).

Los niveles de exposición de plomo pueden dividirse en cinco grupos (22) (23) dependiendo de promedios de absorción y efectos.

En el cuadro # 3 se esquematizan estos niveles:

El nivel I está asociado con concentraciones de plomo en la sangre menores de 30 microgramos de plomo en 100 ml. de sangre.

El nivel II está asociado con un intervalo de 30-50 microgramos en 100 ml. de sangre.

El nivel III en el cual los mecanismos compensadores del organismo minimizan o previenen los daños funcionales, está asociado con concentraciones entre 50-100 microgramos en 100 ml. de sangre.

El nivel IV generalmente se asocia con concentraciones mayores de 80 microgramos en 100 ml. de sangre.

El nivel V presenta exposiciones intensas y se alcanzan concentraciones de plomo en la sangre mucho mayores que 80 microgramos en 100 ml. de sangre. Los efectos residuales persisten después de que los niveles de plomo en la sangre vuelven a la normalidad.

Los efectos, dependiendo del nivel en que se encuentren, se clasifican en:

I. Efectos no demostrables II. Efectos subclínicos mínimos detectables

III. Compensación IV. Daños funcionales exposición corta e intensa V. Daños funcionales crónicos debido a exposiciones intensas

Efectos de los niveles de absorción de plomo. (22)

	I. Efectos no demostrables.	II. Efectos subclínicos mínimos detectables.	III. Compensación	IV. Daños funcionales (exposición corta e intensa)	V. Daños funcionales crónicos, (exposición intensa)
Efectos metabólicos	Normal	Ninguno	Aumento de varios metabolitos en sangre y orina	Aumento posterior de metabolitos	Aumento sólo en caso de exposición reciente
Efectos funcionales en la sangre	Ninguno	Ninguno	Reducción de la vida de los glóbulos rojos, se incrementa su producción	Reducción de glóbulos rojos con o sin anemia. (reversible)	Posible anemia (reversible)
Funciones de los riñones	Normal	Normal	algunas veces mal funcionamiento	Síndrome de Falconi. (reversible)	Nefritis crónica (permanente)
Sistema nervioso Central	Ninguno	Ninguno	?	Cierto daño al cerebro. (permanente)	Daño grave al cerebro especialmente en niños (permanente)
Nervios periféricos	Ninguno	Ninguno	?	Daños posibles	Conducción no sincronizada. (puede ser crónica)
Síntomas	Ninguno	Ninguno	Dolores no específicos	Anemia, cólicos, irritabilidad, daños a la habilidad motora, convulsiones	Deterioros mentales, pérdida de movimiento de las muñecas, coma
Efectos residuales	Ninguno	Ninguno	Ninguno conocido	Desórdenes convulsivos, ceguera, daños mentales profundos	Deficiencias mentales, insuficiencias renales

Si se toma en cuenta que el límite de seguridad (a corto plazo) de contenido de plomo en el aire es de 0.15 mg/m^3 (24), esto da como resultado los niveles de concentración de plomo en sangre de la etapa II. Formas de toxicidad altas se manifiestan cuando los niveles de plomo en sangre son mayores de 75 microgramos/100 ml. de sangre; nivel IV.

A continuación, en el cuadro # 4, se presentan los resultados de un estudio llevado a cabo en los E.E.U.U. (22) que relacionan la exposición respiratoria al plomo, con el contenido promedio de plomo en la sangre de varios grupos.

CUADRO 4.

Niveles de plomo en aire, comparados con niveles de plomo en sangre de diferentes grupos de poblaciones. (22)

Tipo de población	Exposición= microgramos por metro cúbico de aire	Contenido promedio de plomo en sangre. (microgramos/100 gr)
Población rural	0.5	16
Población urbana	1.0	21
Centro Filadelfia	2.4	24
Policía Cincinatti	2.1	25
Policía de tráfico de Cincinatti	3.8	30
Policía de tráfico de Los Angeles	5.2	21
Empleados de túneles de tránsito en Boston	6.3	30

Es de notar que los grupos aparentemente expuestos a mayor cantidad de plomo en aire, poseen generalmente niveles más altos de plomo en sangre.

Del 5-10% del plomo ingerido por un adulto puede absorberse metabólicamente mientras que de un 20 a un 50 % del plomo inhalado a partir del aire contaminado puede absorberse por el cuerpo.(25)

Se ha comprobado que la eliminación diaria de plomo por el cuerpo, es de 0.3 mg. (24) Absorción de mayores cantidades producirían trastornos graves. Se recomienda así concentraciones de plomo en la atmósfera no mayores de $0,15 \text{ mg/m}^3$ de aire.(24) Claro está que este dato es significativo con respecto a exposiciones a corto plazo, ya que después de la exposición al contaminante durante un corto período de tiempo, viene la etapa de desintoxicación la cual ayuda a que el contaminante no se acumule en el organismo. Ahora bien, si nos referimos a exposiciones al contaminante durante largos períodos de tiempo- p.ej. habitantes residentes en las grandes urbes- los límites de seguridad en cuanto a la concentración del contaminante deberán ser mucho menores. A continuación se presentan algunos datos sobre normas de concentración de plomo en aire en diferentes países: (12)

Italia	10 microgramos/ m^3
Israel	5
Hungría, Bulgaria	
Rusia	.7
Alemania del Este,	
Checoslovaquia	0.7
Yugoeslavia	1

En cuanto a partículas suspendidas en el aire se recomienda un nivel límite de 40 microgramos/ metro cúbico. (12) .

El plomo se puede absorber a partir del ambiente que nos rodea, de tres formas:

- a.-Ingestión a partir de comidas o de aguas contaminadas
- b.-Absorción a través de la piel
- c.-Inhalación a través de las vías respiratorias.

El plomo inorgánico no se absorbe a través de la piel y su ingestión no es muy significativa ya que se desecha prontamente. El verdadero problema es el de la inhalación. El tetraetilato de plomo, el aditivo usado comunmente en la gasolina, es más peligroso que las sales inorgánicas de plomo por su volatilidad y por la facilidad con que penetra a través de la piel. Es altamente soluble en las grasas, lo que hace que se concentre en el sistema nervioso central y en el hígado. (24)

II.2.-Proveniencia de partículas y de plomo en el aire contaminado

(Emisiones Automotrices).

Una fracción significativa de las partículas que se encuentran en la atmósfera proviene de las emisiones de los escapes de los vehículos que usan gasolina o diesel como fuente de energía. Las emisiones automotrices generalmente producen siete tipos de contaminantes:

Contaminantes producidos en grandes cantidades

- Monóxido de carbono, CO
- Hidrocarburos sin quemar
- Óxidos de nitrógeno (mezclas variables de NO, NO₂, y otros óxidos)
- Partículas, especialmente conteniendo plomo

Contaminantes producidos en pequeñas cantidades

- Dióxido de azufre, SO₂ (pequeñas cantidades comparadas a las emitidas en la combustión de carbón)

Contaminantes producidos en menores cantidades

- Asbesto (a partir de revestimiento de frenos)
- Hule (a partir de las llantas) (1)

Se ha estimado que los motores de los vehículos contribuyen con un:
65% de todas las emisiones de monóxido de carbono producidos por el hombre,
48% de las emisiones de hidrocarburos,
40% de las emisiones de óxidos de nitrógeno,
80-96% de todas las emisiones de plomo hacia la atmósfera.) (1)

El restante 4-20% de plomo en la atmósfera proviene de operaciones industriales, mineras, fabricación de pesticidas, volcanes, etc.

En 1975, por ejemplo, la utilización de combustibles (incluyendo gasolina) produjo 273 millones de kilogramos de plomo. Los volcanes, que son la mayor fuente natural de producción de aerosoles de plomo, contribuyeron sólo con 6.4 kilogramos de plomo. (3)

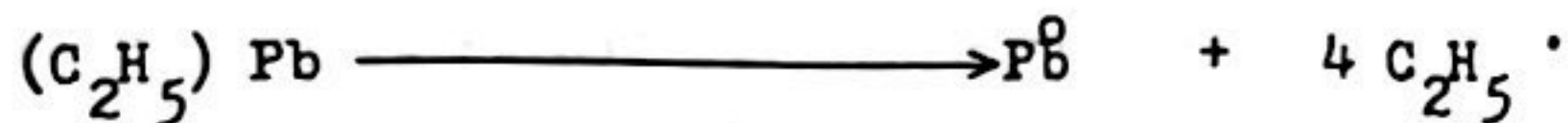
Estas emisiones provenientes de los escapes automotrices, contienen partículas muy finas de aproximadamente 0.02-1 micra de diámetro, las cuales son compuestos orgánicos e inorgánicos de alto peso molecular. La cantidad de estas partículas producidas en los escapes varía entre 0.22-3.2 mg/ gramo de gasolina quemada, con un promedio de emisión de 0.78 mg/ gramo de gasolina quemada . (26)

La fracción más significativa de estas emisiones de partículas en automóviles, son compuestos de plomo que se originan a partir del uso de aditivos combustibles para motores de altas compresiones. Debido a que hoy en día es muy caro el refinamiento del petróleo para proveer una mezcla adecuada de hidrocarburos que se queman eficientemente en el motor, se ha encontrado la solución más barata de agregar aditivos a la gasolina, los cuales permiten que mezclas de hidrocarburos de baja calidad (menor octanaje) se adapten a mayores compresiones.

Entre los aditivos más ampliamente usados se encuentran los alquilos de plomo tales como el tetraetilato de plomo (TEL, en inglés tetra ethyl lead), y el tetrametilato de plomo TML. Además existen compuestos mixtos de alquilos de plomo tales como el MLA 250, MLA 500, MLA 750. (27)

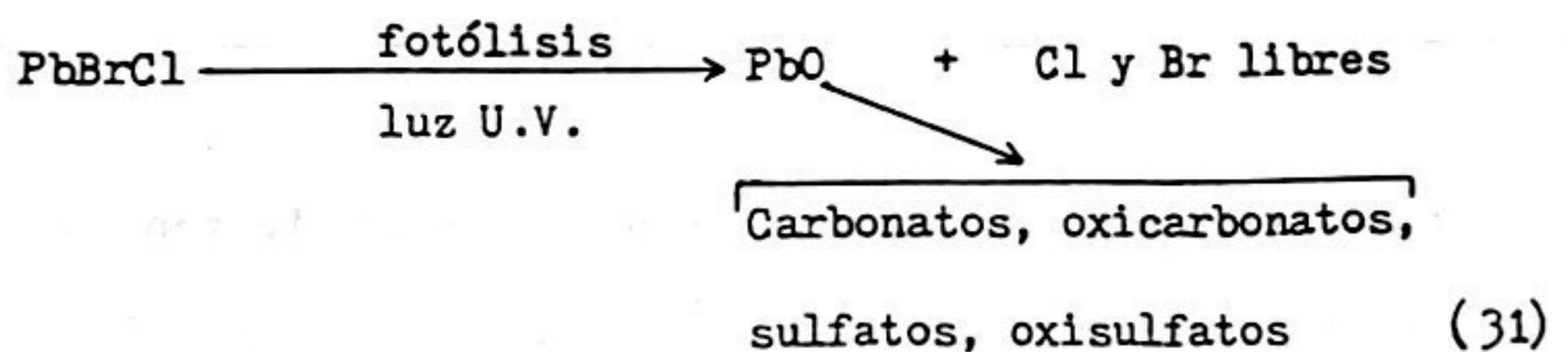
Estos aditivos pueden descomponerse durante la combustión de la gasolina, o pasar directamente a la atmósfera a partir de vapores provenien-

tes del tanque de gasolina. A una temperatura de alrededor 140°C , el tetraetilato de plomo se descompone para formar plomo metálico y radicales libres etilo. La ecuación para esta reacción es



Además de estos compuestos aditivos, se agregan los compuestos orgánicos 1,2 dibromo-etano y 1,2 dicloro-etano, los cuales sirven para prevenir la acumulación del óxido de plomo en los cilindros de combustión. (28) Esto da como resultado una descarga a la atmósfera de sales mixtas de bromo y cloro con plomo (PbBrCl). (29)

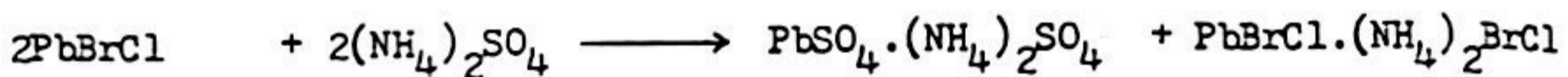
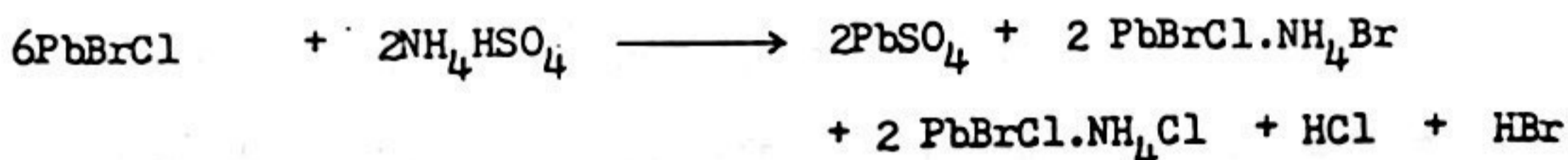
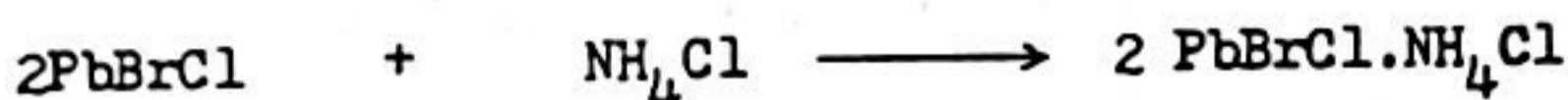
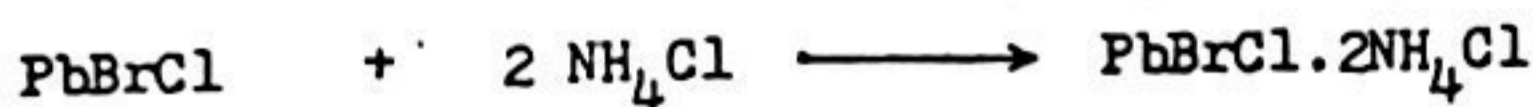
Estudios realizados con difracción de rayos X, han demostrado que el PbBrCl es el compuesto de plomo más abundante en las emisiones de partículas provenientes de los escapes, y en menor cantidad se encuentran las formas alfa y beta de la sal doble bromocloruro de plomo-cloruro de amonio ($\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 2\text{PbBrCl}$). (30) Estos compuestos experimentan cambios al estar en la atmósfera



En la atmósfera se encuentran presentes gases tales como SO_2 , NO , NO_2 , CO_2 los cuales al estar en contacto con vapor de agua condensado, forman ácidos que a su vez reaccionan con diferentes tipos de compuestos de plomo; para formar sulfatos y nitratos que se depositan en los suelos.

CUADRO 5.

Reacciones de diferentes compuestos
de plomo. (29)



En conclusión, los haluros de plomo se convierten en otros compuestos por procesos químicos y de disolución pasando el plomo a precipitar como compuestos más insolubles p.ej. PbSO_4 . El PbSO_4 es el compuesto más insoluble en suelos con pH menor de 7.5, el PbCO_3 es la especie más insoluble arriba de pH de 7.5. (31)

Generalmente la gasolina extra o super contiene aproximadamente 0.58 ml/litro de tetraetilato de plomo, mientras que la gasolina regular o corriente tiene 0.5 ml/1 . A continuación se presentan ciertos niveles 'standard' de contenido de plomo en la gasolina de los Estados Unidos:

CUADRO 6.

Limitaciones según la USEPA* (32)
De contenido de plomo en gasolina.

Gramos por galón	Gramos por litro	Fecha
1.7	0.45	después del 1 de enero de 1975
1.4	0.37	después del 1 de enero de 1976
1.0	0.26	después del 1 de enero de 1977
0.8	0.21	después del 1 de enero de 1978
0.5	0.13	después del 1 de enero de 1979

* Unites States Environmental Protection Agency.

Hoy en día, los vehículos equipados con sistemas catalíticos usan gasolina libre de plomo que contiene un máximo de 0.1 gramo por litro.

III. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN EN GUATEMALA.

Debido a que Guatemala presenta el fenómeno de macrocefalismo - superpoblación en la capital causada por migraciones constantes provenientes del interior del país- se centra en su capital, además de industria y comercio, una población creciente que adopta el uso constante de medios de transporte junto con otro sinnúmero de necesidades que contribuyen a fomentar el problema de la contaminación atmosférica.

El último censo de población (33) demuestra que de los aproximadamente 5,300,000 habitantes totales de Guatemala en 1973 (fecha del censo), 1,200,000 residen en la capital; esto constituye aproximadamente el 23%, cifra que suponemos es típica de la situación de hoy en día.

La capital esta localizada en una depresión o valle con barreras topográficas al Oeste y Este, abierta en sus extremos Norte y Sur. Como el valle no está cerrado completamente, el movimiento de aire es más o menos continuo y, por lo tanto, se ha supuesto hasta ahora que las concentraciones de contaminantes aéreos no alcanzan niveles tan altos como en ciudades tales como Los Angeles, Tokio, Nueva York, México, etc. (34) Guatemala además tiene la ventaja que el desarrollo industrial que presenta ha sido bastante reciente; así se ha logrado regular a través de un programa activo, la orientación y localización de industrias en el área urbana. El Reglamento de Localización e Instalación Industrial ha establecido zonas de tolerancia donde pueden establecerse tipos específicos de industrias. Además reguló los límites

para la emisión de contaminantes aéreos de las chimeneas de instalaciones industriales, con el objeto de controlar las emisiones de sustancias tóxicas producidas en estas operaciones industriales. (34)

Tomando en cuenta los factores anteriores se puede proponer el hecho que, aunque las emisiones industriales contribuyen en parte al problema de la contaminación, el mayor problema proviene del uso de varios tipos de vehículos automotores tales como buses, camiones, autos, etc. La costumbre de construir edificios adyacentes a calles estrechas como ocurre en zonas antiguas de la capital (zona 1), puede crear concentraciones altas de sustancias tóxicas en las calles de mayor movimiento de automóviles y de buses de línea. En estas calles y avenidas con alta densidad de tráfico, se pueden esperar concentraciones altas de gases tóxicos, materia particulada y plomo, en las horas de mayor flujo de tráfico que son aproximadamente de las 6 a las 9 am, 11 a 1pm, y de 6 a 7 pm.

Desgraciadamente en nuestro país no existen regulaciones sobre los límites de calidad del aire. De aquí la importancia de realizar estudios de sondeo para determinar si en realidad hay niveles altos para diferentes clases de contaminantes y de ser así tomar las medidas adecuadas para controlarlos.

Al respecto, en Guatemala se han realizado algunos estudios sobre varias clases de contaminación atmosférica: en el año de 1973, se efectuó un estudio sobre 'Standards de Calidad Ambiental y Revisión Legislativa de la Autoridad Ambiental'. (34)

Este define y recomienda, en base a datos aplicados en diferentes ciudades de E.E.U.U., cuales podrían ser los límites de calidad ambiental de la ciudad de Guatemala. Sin embargo este trabajo no presenta ningún estudio experimental en el campo de la contaminación aérea, que respalde las recomendaciones teóricas propuestas.

CUADRO 7.

Standards de calidad del aire recomendados para la ciudad de Guatemala. (según estudio de la Municipalidad llevado a cabo en 1973). (34)



Contaminante	Límite Recomendado
Materia Particulada (suspensión)	
Promedio geométrico anual.	60 microgramos/m ³
Concentración máxima en 24 horas.	100 microgramos/m ³
Materia Particulada (descenso)	
Área residencial	5 gramos/ 5m ³ al mes
Área comercial (centrica)	8 gramos/ 5m ³ al mes
Áreas industriales	10 gramos/ 5m ³ al mes
Metales pesados	
Plomo	0.05 ppm (partes por millón)

En el año de 1977, la Universidad de San Carlos, en colaboración con la Red Panaiçe (Red Panamericana de Muestreo del Aire) montó un aparato de muestreo en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia con el objeto de determinar niveles de anhídrido sulfuroso, polvo sedimentable, y polvo en suspensión. (35) En la Dirección General de Salud Pública también montó una estación similar.

Los resultados de este estudio indican que existe un grave problema de contaminación del aire causado por el polvo sedimentable e incrementado por el polvo en suspensión. Resultados de mediciones de SO_2 indican que este contaminante no representa ningún peligro en contra de la salud, por lo menos en el área donde estuvo situada la estación (3 calle y 7 avenida de la zona 1).

CUADRO 8.

Resultados encontrados en el estudio de SO_2 , partículas en suspensión y polvo sedimentable llevado a cabo en la USAC. (35)

Niveles máximos encontrados	Niveles límites
$SO_2 = 22.5 \text{ microgramos/m}^3$	80 microgramos/ m^3
Polvo en Suspensión= 345 microgramos/ m^3	100 microgramos/ m^3
Polvo Sedimentable= 2 mg/ cm^2 /30 días	0.5 mg/ cm^2 /30 días

Además de los estudios mencionados anteriormente, se encuentran en la Dirección General de Minería e Hidrocarburos y en la Escuela de Ingeniería Sanitaria, breves reportes sobre aspectos teóricos de la contaminación ambiental en la ciudad de Guatemala. Por ejemplo, en el trabajo Contaminación Aérea de Vehículos Automotores, se recomiendan soluciones al problema de la contaminación de ruido, humo negro, partículas, gases nocivos, provocada por vehículos automotores. (36)

En vista de que no se tienen mediciones experimentales significativas que nos reflejen el estado actual de la contaminación aérea de plomo en la ciudad, el presente trabajo en su realización abarcará tres etapas, con el objeto de lograr una idea sobre las fuentes y niveles de este contaminante en nuestro medio ambiente.

Etapas de estudio del presente trabajo:

- 1.-Cuantificación del contenido de plomo en tierra de calles de la ciudad (zona 1 o central).
- 2.-Cuantificación del contenido de plomo en gasolina super y regular de diferentes expendios de la capital.
- 3.-Muestreo y análisis de partículas en suspensión en el aire para determinar su contenido de plomo.

Se escogió el plomo debido a sus efectos dañinos sobre la salud, y porque además nos puede dar una idea general de los niveles de otros contaminantes automotrices provenientes de los escapes.

Se supuso que se encontrarían niveles altos de plomo en los lugares con alta densidad de tráfico, y por esta razón se escogieron varios sitios clave en la zona 1; en los cuales se estudiaron las variaciones de este contaminante durante las horas pico del día de mayor tráfico.

El estudio de plomo en gasolina es necesario realizarlo para verificar los niveles del mismo en ella, ya que aproximadamente de un 70-80% del plomo quemado en el motor, se expelle a la atmósfera. El 20-30% restante se retiene en el motor, sistema de escape, o se acumula en el aceite lubricante del motor. (4)

De acuerdo con los registros de la Secretaría de Minería e Hidrocarburos, el consumo en barriles de gasolina y combustibles varios fue

en los años:	1977 =	Super.....	998,000	
		Regular.....	1,468,000	
	1978 =	Super.....	1,145,112	
		Regular.....	2,901,741	(37)

Se vé así que hubo un incremento del 15% en consumo de gasolina Super y del 41% en consumo de gasolina regular. Con el aumento descontrolado de automóviles y por ende del consumo de gasolina en la capital, y por falta de reglas que controlen el contenido de plomo en la gasolina; el problema de la contaminación aérea por plomo se agravará año tras año, según los datos encontrados en el presente estudio.

El estudio de plomo en suelos se hace con el objeto de tener una pauta sobre la presencia de este en el aire del lugar, ya que lluvias y vientos pueden depositar estas partículas en la tierra de las calles. También, al estar los escapes de los carros tan cerca del nivel de la calle, puede darse el caso de que parte del plomo que sale de éstos, puede depositarse directamente en el suelo; mientras que la parte de partículas más pequeña se va al aire directamente.

IV. METODOLOGÍA.

IV.1.- Objetivos específicos.

Análisis en aire:

Se analizó el plomo que es el principal componente en las partículas provenientes de emisiones automotrices. Como segunda variable se determinó el hierro, otro elemento que se encuentra en mucha menor escala, en las emisiones automotrices. Es interesante poder correlacionar estos dos elementos entre sí ya que uno proviene de fuentes antropogénicas, mientras que el otro proviene también de fuentes naturales tales como el polvo de tierra suspenso en el aire.

Se estudiaron las variaciones de estos dos elementos uno con respecto al otro, bajo diferentes condiciones tales como viento, humedad relativa, temperatura, número de vehículos, y condiciones temporales, para tratar de proponer una hipótesis sobre su proveniencia.

Análisis en suelos:

El muestreo en diferentes localidades de la zona 1, se llevó a cabo con el objeto de lograr una idea inicial de los puntos de mayor contaminación de plomo. Se analizó además hierro para estudiar la posible relación de este con el plomo.

Análisis de gasolina:

El análisis de plomo en gasolina se efectuó tomando varias muestras en diferentes días, en un mismo expendio. Con esto se estudió la variación del plomo en gasolina de una misma marca. Además se compararon los contenidos de plomo en gasolina super y regular de Esso, Gulf, Shell, Texaco y Chevron.

IV.2.-Teoría sobre análisis de partículas suspendidas en el aire.

IV.2.A.-Filtración:

Las partículas suspendidas en el aire y aerosoles son sólidas ó líquidas y de tamaños variables entre 0.01 micra y 100 micras. Existen varios métodos para la recolección de estas, tales como sedimentación, filtración, centrifugación y precipitación térmica o electrostática. Debido a su simplicidad y eficiencia, se usó en el presente estudio, el método de filtración para llevar a cabo el muestreo de partículas suspendidas en el aire. Es de especial importancia escoger el material de filtración con mucho cuidado ya que cada uno tiene sus características propias.

Los filtros de fibra de vidrio tienen altos niveles de impurezas de metales tales como Mn, K, Ca, Ba, Na, los cuales interfieren en el análisis cuantitativo de otros elementos debido a que poseen efectos de matriz variable. (33) Los filtros más recomendables a usarse en el muestreo de partículas son los de membranas, poliestireno, y de celulosa.

Resumiendo, los filtros pueden clasificarse en dos clases:

- 1.- filtros de fibra
- 2.- filtros de membrana

Los filtros de fibra tienen la particularidad de que son muy eficientes para muestrear un rango grande de tamaño de partículas y además poseen bajas caídas de presión a través del filtro.

Los filtros de membrana- pequeñas hojas de plástico con agujeros regulares sumamente pequeños- tienen la ventaja de que la mayoría del material recolectado se sitúa sobre la superficie del filtro, lo cual es muy cómodo por ejemplo, para identificación de partículas al microscopio. Tienen la desventaja de poseer caídas de presión altas. Entre estos filtros se encuentran los miliporos y nucleoporos.(39)

Los filtros nucleoporos se fabrican por medio de la exposición de una capa delgada de policarbonato a un haz de neutrones. El material dañado se remueve en un baño digestor y así se obtiene un filtro con tamaño de poro uniforme y controlable.

El proceso es el siguiente: se toman hojas de 10 micras de grueso de policarbonato, se ponen en contacto con hojas de uranio, y todo esto se coloca por último en un reactor nuclear. El uranio 235 de las hojas de uranio, sufre procesos de fisión cuyos fragmentos dan lugar a productos de reacción química en las hojas de policarbonato. Al colocar estas en el baño, estos productos se remueven y así se puede controlar el tamaño del poro regulando la temperatura del baño, el tiempo de remoción, y el tipo de reactivo utilizado en el baño. (39)

Las características de un filtro que se deben tomar en cuenta al efectuar un muestreo son:

-Eficiencia de recolección (ΔE)

-Caída de presión a través del filtro (ΔP)

Otros factores secundarios son la resistencia, la reactividad química, y la estabilidad.

Los mecanismos principales de filtración son:

- 1.- Intercepción directa.
- 2.- Impacto de las partículas en el filtro.
- 3.- Difusión como resultado del movimiento Browniano. (39)

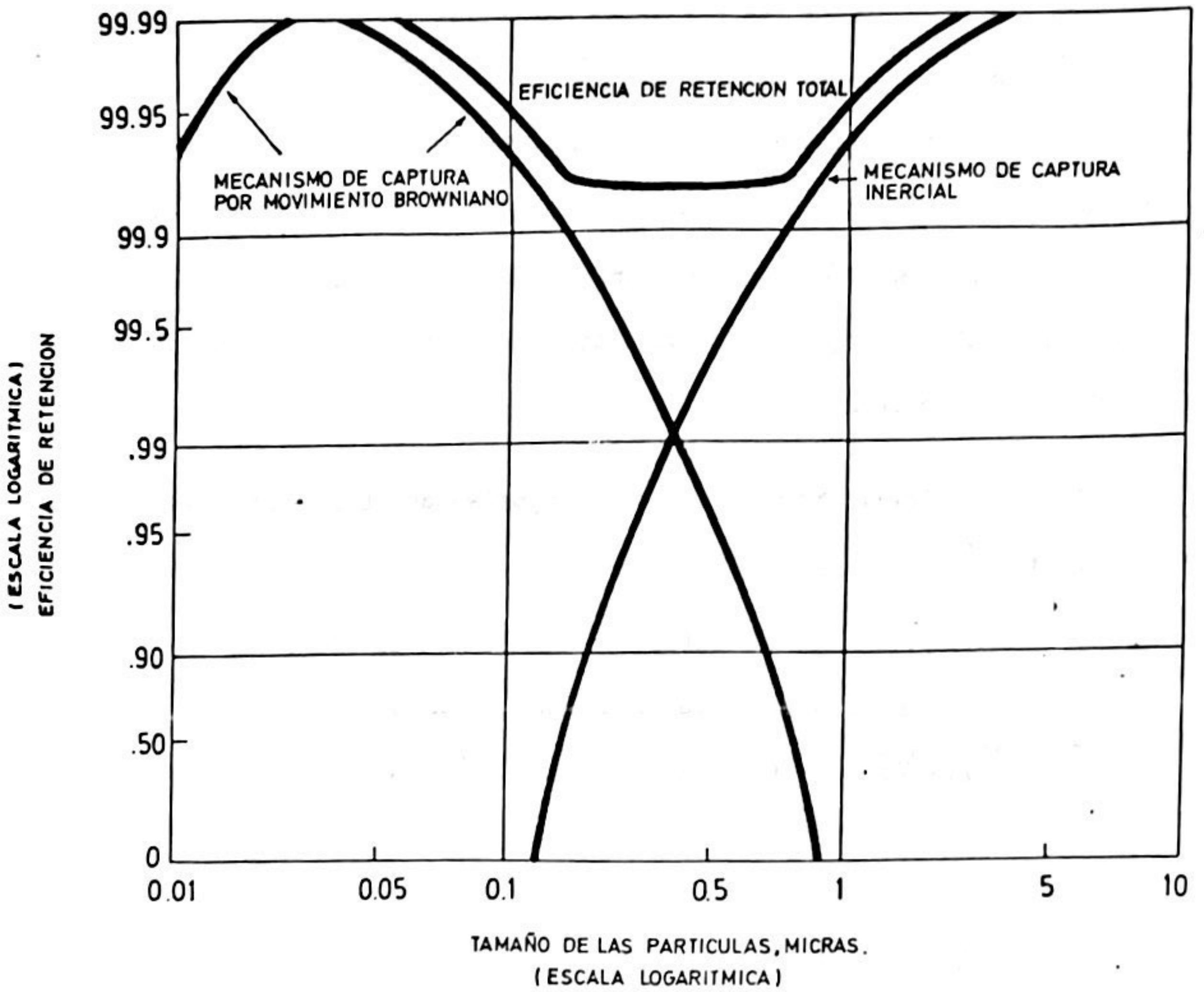
La intercepción directa ocurre cuando una partícula, al seguir la línea de flujo del aire a través de los poros del filtro, hace contacto directo con este. Si el radio de la fibra o poro es "a", y el de la partícula es "r", ocurrirá un contacto cuando el centro de la partícula llegue a una distancia entre "a+r" del centro del poro. La intercepción en consecuencia, aumenta al aumentar el tamaño de la partícula.

El impacto de las partículas es favorecido por flujos de aire de altas velocidades a través del filtro. Las partículas que van en el flujo de aire, a consecuencia de la velocidad, sufren desviaciones inerciales a partir de la línea de flujo cuando este es forzado a fluir a través o alrededor de los poros del filtro. Las partículas al chocar contra el filtro, son removidas efectivamente de la corriente de aire. El impacto generalmente sólo es efectivo para partículas grandes y densas, y se vuelve menos efectivo cuando estas son más pequeñas.

Las partículas pequeñas poseen suficiente movimiento Browniano para difundirse a través de distancias del orden de décimas de micra mientras el aire pasa a través del filtro. Este mecanismo es favorecido por flujos lentos y partículas de pequeñas dimensiones. (ver figura # 3)

FIGURA # 3

EFICIENCIA EN LA FILTRACION DE PARTICULAS. (40)



IV.2.B.-Parámetros de análisis en la medición y el muestreo.

El muestreo y análisis del aire, son dos pasos que se deben seguir cuando se quiere establecer la calidad y composición de este.

El muestreo se refiere al seleccionamiento del aire a estudiar, incluyendo el equipo muestreador. El análisis se refiere en sí al proceso de medir la concentración de cierto contaminante en la muestra de aire.

Un muestreo adecuado en la atmósfera se debe llevar a cabo muy cuidadosamente ya que las partículas suspendidas en el aire, no están dispersas uniformemente. Además no siguen en general las líneas de corriente de gases en la atmósfera, y están sujetas a diferentes fuerzas además de las fuerzas aerodinámicas.

Se deben considerar varios factores importantes al llevar a cabo un muestreo:

- 1.- Factores atmosféricos cambiantes que afectan la concentración del contaminante.
- 2.- Velocidad de muestreo isocinética.
- 3.- Cambios que sufre el aire y partículas debido a mecanismos de muestreo.
- 4.- Características especiales que debe tener la muestra recolectada.

Los factores atmosféricos cambiantes se pueden dividir en tres diferentes grupos:

- Efecto de la altura a la cual se producen estas emisiones de contaminantes.
- Efecto de desplazamiento de los contaminantes.
- Efectos atmosféricos de dispersión de los contaminantes.

Por ejemplo, un contaminante que es lanzado a la atmósfera por medio de una chimenea, generalmente sigue elevándose; mientras que si las emisiones provienen de los tubos de escape de los automóviles, estarán mucho más tiempo en alturas bajas hasta que se depositen o se eleven a alturas mayores. Así, la elevación del contaminante depende fundamentalmente de factores meteorológicos y, además, está afectada por el área de emisión y velocidad de salida. Al tomar las muestras, se debe por consiguiente anotar los datos meteorológicos para tener parámetros de comparación en la etapa de análisis de resultados.

La altura efectiva de las emisiones, depende en gran parte del gradiente de temperatura existente entre estas emisiones y el aire circundante. El viento como factor meteorológico, es de suma importancia ya que puede actuar de dos formas: un viento fuerte produce turbulencias y aumenta la persistencia del contaminante en la atmósfera, o si hay obstáculos impacta las partículas contra estos.

La velocidad de muestreo debe ser isocinética, en la cual el material muestreado entra al orificio del sistema muestreador sin ser molestado ni acelerado. Esto implica que el orificio del sistema debe aspirar la muestra a la misma velocidad a la cual el aire sale de este.

Procesos anisocinéticos producirían errores proporcionales al tamaño de las partículas ya que estas, al sufrir cambios en la dirección y velocidad en la corriente de aire, distorsionan la deposición normal de las partículas en el filtro.

Entre los cambios que puede sufrir el aire debido a los mecanismos de muestreo, tenemos por ejemplo, la sedimentación de partículas grandes en instrumentos antepuestos al filtro y en los ductos que transportan el aire a este, el choque de partículas en las paredes y recodos por donde pasa el aire antes de llegar al filtro, difusión de partículas sumamente pequeñas hacia las paredes de ductos colocados antes del filtro. Como consecuencia de estos factores, el muestreo se debe llevar a cabo con un equipo que posea la menor cantidad de ductos y recodos antes del filtro. Se eliminan los factores anteriores si se usan filtros de superficie expuesta, colocándolos como primera pieza en el equipo muestreador.

La muestra recolectada debe tener ciertas características especiales tales como : ser representativa de la mayor parte de partículas existentes en el ambiente, ser de tamaño suficiente para permitir un análisis razonable y ser muy estable o sea que el contaminante a estudiar no se degrade durante el tiempo en el que se preparará el análisis.

Pasos que se requieren en el muestreo:

- a.- Recolección de la muestra utilizando instrumentos y técnicas apropiadas para un contaminante específico.
- b.- Refinamiento o preparación de la muestra recolectada.
- c.- Análisis de la muestra.
- d.- Evaluación de las cantidades de contaminante recolectado.

La velocidad de muestreo estará determinada por la clase de equipo de recolección, por ejemplo, si la bomba de vacío no tiene mucha capacidad de bombeo, esto implicará un mayor tiempo de muestreo ya que la cantidad de material recolectado también será baja. En el presente estudio se utilizaron dos bombas de vacío (ver figura # 4) de 25 litros/minuto de capacidad cada una. Se asumió además un tiempo de muestreo promedio de una hora, tiempo en el cual se recogería un flujo de aire de aproximadamente $3m^3$.

La cantidad necesaria o tamaño de la muestra, es inversamente proporcional a la sensibilidad del método analítico a usarse. Los métodos de análisis incluyen consideraciones tales como rapidez del método analítico, su precisión y reproducibilidad.

En cuanto a la selección del lugar de muestreo, deben buscarse los lugares que tengan en lo posible, uniformidad de presión, temperatura, velocidad y concentración del contaminante. Por ejemplo, lugares de muestreo muy cerca de las emisiones de contaminantes (nivel de escape de automóviles) poseerán grandes variaciones en los parámetros citados anteriormente.

IV.2.C.- Métodos de Análisis de plomo en suelos, gasolina y aire.

Para cuantificar metales pesados como el plomo, existen varios métodos, tales como :

- Emisión de Rayos X inducida por protones (PIXE). (17)
- Fluorescencia de Rayos X inducida por protones. (41)
- Fluorescencia de Rayos X inducida por Rayos X. (42)(43)
- Espectro-Análisis por emisión óptica. (44)
- Horno de Grafito en Absorción Atómica. (28)
- Espectroscopía de Absorción Atómica con llama. (44)(45)

Existen además otros métodos mucho menos sensibles:

- Método Gravimétrico: precipitación del plomo como sulfato, cloruro, iodato, ó cromato. (46)
- Método Electrolítico: el plomo se deposita en el ánodo como PbO_2 . (46)
- Métodos Colorimétricos: reacción del plomo con ditizona y otros reactivos para formar complejos coloreados. (47)

Sin embargo, el requisito principal de esta trabajo es el de poder detectar las pequeñas cantidades características que se encuentran en el aire y suelos. Debido a esto, el método elegido por su sensibilidad, disponibilidad, simplicidad de operación, confiabilidad, facilidad de trabajo con diferentes matrices, e interferencias casi inexistentes; es el de Espectroscopía de Absorción Atómica. (Ver Apéndice IX.1.)

IV.3.-Diseño experimental.

IV.3.A.- Equipo de muestreo.(Ver figura # 4)

Los componentes principales en el equipo de muestreo son: la bomba que provee el movimiento del aire a través del filtro, el medidor de flujo y el sistema portador del filtro recolector.

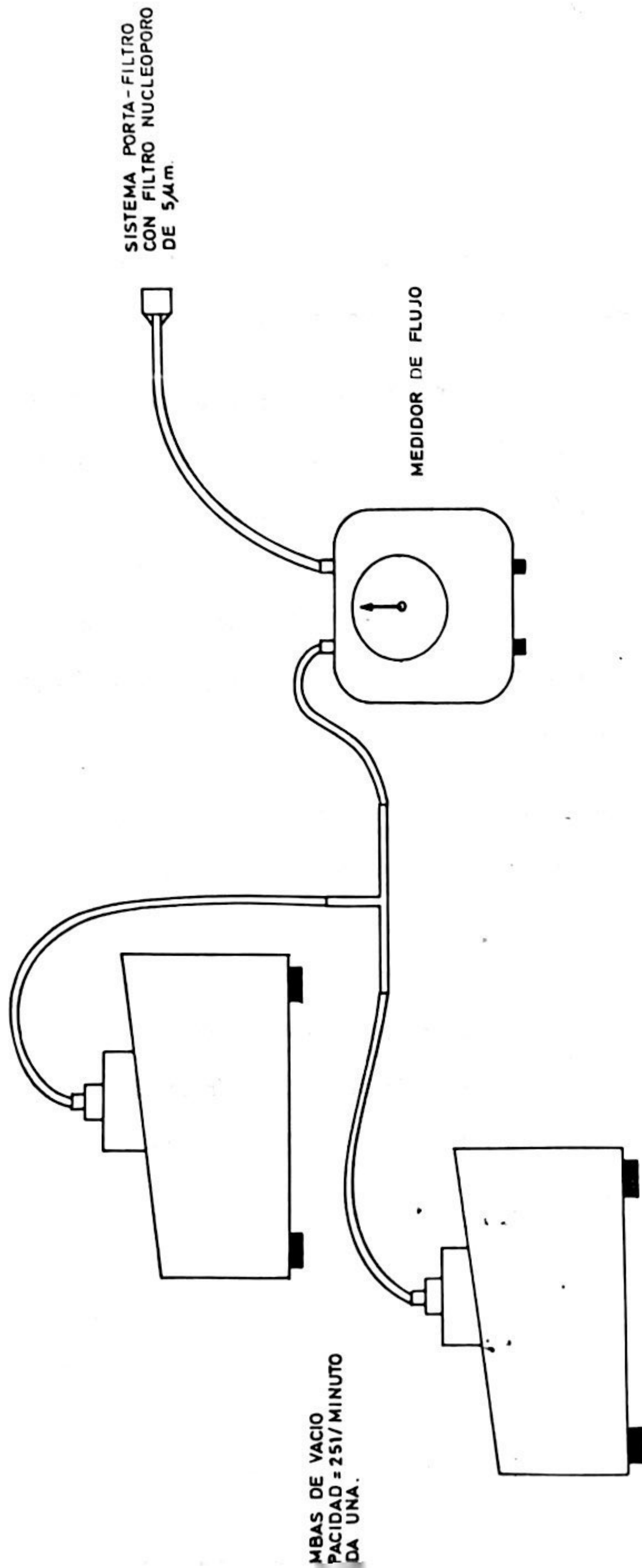
Las bombas de vacío más usadas son las de desplazamiento positivo y las de tipo centrífugo. La principal diferencia en su funcionamiento es que la relación entre presión de succión (cabeza) y capacidad, es lineal en la de desplazamiento positivo y no lineal en la de tipo centrífugo.⁽⁴⁸⁾ Ambos tipos de bomba, son propulsados por motores eléctricos. El aire debe pasar primero por el filtro y luego por la bomba para que no se presenten problemas de contaminación.

Los medidores de flujo son muy importantes ya que nos relacionan la cantidad de contaminante muestreado con respecto a la cantidad o volumen de aire de donde proviene. La medida de flujo se hace generalmente entre el sistema recolector (filtro) y la bomba de vacío. Entre los diferentes tipos de medidores de flujo se encuentran:

- Venturis, donde la presión se mide con un manómetro y la velocidad de flujo se calcula a partir de la lectura de este.
- Rotámetros, que poseen una bolita que flota en un tubo de vidrio vertical y el flujo que se quiere medir se pasa de abajo hacia arriba.
- Volumétricos, medidores de flujo directo que miden el volumen de aire muestreado.

FIGURA #4

EQUIPO DE MUESTREO DEL AIRE



DE LA BIBLIOTECA

IV.3.B.- Condiciones variables tomadas en cuenta al efectuar el
muestreo de suelos y aire,

Localidad:

Se delimitó como lugar de muestreo la zona 1 (central) de la ciudad capital. Además de ser esta una de las zonas más concurridas, posee mucho movimiento comercial y profesional. Por lo tanto se consideró de suma importancia la determinación de los niveles de plomo en aire de esta área. Se escogieron para tal efecto 9 localidades para el análisis de tierras y 6 localidades para el muestreo del aire. Se muestreó un mayor número de avenidas ya que estas poseen generalmente más flujo de tráfico que las calles. En cada uno de los sitios de muestreo de tierra, se recogieron muestras de aproximadamente 30 gramos. Este muestreo se llevó a cabo en el mes de junio de 1979. En cada uno de los lugares designados para muestrear aire, se llevaron a cabo los muestreos en un intervalo de tiempo de 11am a 1pm, repitiéndose estos muestreos dos veces en cada lugar. De esta forma se obtuvo un mapeo geográfico de la cantidad de plomo en aire en diferentes sitios de la zona 1 de esta ciudad. (Ver figura # 11)

Las muestras de tierra se tomaron solo una vez en cada localidad de las 7am a 8 am. Luego el análisis se efectuó varias veces tomando alícuotas de la misma muestra.

Temporalidad:

Este parámetro se escogió en base a la bomba que teníamos disponible, y en base a su capacidad de muestreo(50 l/minuto). Se calcu-

16 que para tener aproximadamente cantidades detectables de plomo, se debería muestrear el aire 1 ó 2 horas para obtener un volumen de 3 a 6 m³ de aire. Debido a que solo poseíamos una bomba, el muestreo en cuanto a temporalidad (muestreo a través de todo el día), solo se llevó a cabo en una localidad. Se muestreó el aire durante las diferentes horas del día, muestreando 1 hora en las horas de mayor tráfico, y 2-3 horas en las horas más tranquilas. Este muestreo se llevó a cabo dos veces en la misma localidad.

El muestrear una localidad a través de todas las horas del día, nos permitió darnos una idea de las variaciones del plomo con respecto al tiempo.

Además del factor de temporalidad dentro de un mismo día, se estudió el factor de temporalidad que relacionó niveles de plomo en días entre semana y en días de fin de semana (domingo). Se obtuvo así un patrón de contaminación mínima (fin de semana), en las localidades que mostraron en días entre semana, valores altos de contaminación proveniente del flujo automotriz.

Climatológicas:

Estas condiciones fueron muy interesantes ya que nos permitieron correlacionar la variación de los niveles de contaminantes, con respecto a diferentes velocidades del viento, humedad relativa y temperatura.

El muestreo del aire se llevó a cabo en los meses de febrero y marzo (meses bastantes secos) por lo cual no se tuvo la oportunidad de mues-

trazar el aire después de una lluvia.

Debido a lo corto del muestreo, no se logró abarcar diferentes estaciones del año, donde los factores climatológicos cambian radicalmente.

La única diferencia que se logró estudiar en cuanto a factores meteorológicos, fué la variación de vientos, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica de un día a otro; en los muestreos llevados a cabo en una misma localidad durante la misma estación del año.

Niveles de contaminación determinados en el presente estudio:

El análisis propiamente dicho, determinó niveles de contaminación máximos, mínimos, sub-urbanos, de campo, típicos y niveles de interiores.

Niveles máximos: niveles de plomo más altos encontrados en días entre semana en las diferentes localizaciones, al mediodía.

Niveles mínimos: nivel de plomo menor encontrado en los muestreos llevados a cabo durante el día en una sola localidad.

Niveles típicos: promedio de los contenidos de plomo en diferentes localidades muestreadas en días entre semana.

Niveles de fondo: mediciones de fin de semana.

Niveles sub-urbanos: niveles de plomo encontrados en la Universidad del Valle VHIII, donde existe cierto movimiento de autos.

Niveles de campo: tomados en una casa localizada al final de la avenida Petapa, donde casi no existe movimiento de tráfico.

Niveles de interiores: niveles de plomo en un interior de casa de la zona 1 y niveles encontrados adentro de un laboratorio.

V. PROCEDIMIENTOS.

V.1.- Extracción de plomo y hierro de tierra de las calles. (49)

1. Se recolectó de la orilla de la acera una cantidad de tierra de aproximadamente 30 gramos. La muestra se recolectó con paletas de cartón y se guardó en bolsas plásticas para evitar cualquier clase de contaminación.
2. En un crisol de porcelana tarado, se pesaron 3 gramos de tierra. Se agregaron 5 ml de HNO_3 8 M cuidando de que no hubiera proyecciones debidas al CO_2 desprendido, proveniente de los carbonatos del suelo.
3. Se digirió en una mufla a 90°C durante dos horas, sin proyecciones, la muestra contenida en el crisol. Se añadió luego 1 ml de HCl concentrado para completar la extracción de hierro de la tierra. Se digirió durante dos horas más a la misma temperatura.
4. Se transfirió cada tierra y solución a un tubo de centrífuga, lavando varias veces el crisol con HNO_3 al 1%. Se centrifugó y trasladó la solución directamente a un balón aforado (50 ó 100 ml). Se lavó cuantas veces fue posible el suelo, para completar la extracción al máximo. Se reunieron todos los lavados en el balón y se aforó con HNO_3 al 1%.
5. Se tomaron lecturas para el plomo con el espectrofotómetro de Absorción Atómica previamente calibrado con una escala de 0 a 20 ppm (rango lineal del plomo). Soluciones standard y curvas de calibración pueden consultarse en el Apéndice IX.4.

6. Para llevar a cabo las lecturas del hierro, se tomó una alícuota de la muestra de 1 ml y se le agregó con una pipeta volumétrica de 100 ml, esta cantidad de HNO_3 al 1%. Al tener este grado de dilución del hierro, se pudieron tomar lecturas con el espectrofotómetro calibrado con una escala de 0 a 10 ppm. (Ver Apéndice IX.4)

7. Para llevar a cabo una mejor y más completa extracción de hierro, se agregó HCl concentrado al suelo restante, se le dejó en reposo una hora y luego de centrifugar se transfirió la solución a un balón aforado, aforando luego con agua destilada. Se tomaron lecturas de esta 2^o extracción de hierro utilizando las instrucciones del paso # 6.

V.2. Procedimiento de la determinación del contenido de plomo en gasolina super y regular de diferentes expendios de la capital.

1. Se tomaron muestras de gasolina en frascos de vidrio directamente de la bomba de la gasolinera. Se muestrearon tres diferentes expendios de cada una de las siguientes marcas: Esso, Gulf, Shell, Texaco, Chevron; tanto de gasolina super como de gasolina regular. Luego se escogieron uno de los tres expendios de cada marca y se repitió el muestreo solo en este expendio dos veces más a intervalos de dos o tres días.

2.- Se hicieron diluciones de las muestras a razón de 1 ml de gasolina en 50 ml de gasolina blanca libre de plomo. Lo anterior se llevó a cabo con una pipeta volumétrica de 1 ml y un balón aforado de 50ml.

3. Se prepararon soluciones standard a partir de una solución patrón de TELMEL-50, mezcla de alquilos de plomo 50% TEL y 50% TML. Ver Apéndice IX.4. Esta solución standard fué proporcionada gentilmente por el Ing. Orson Lou de la refinería Texaco, Escuintla Guatemala.

Esta solución patrón contenía 266 ppm de plomo.

4. Se calibró el espectrofotómetro de Absorción Atómica con las soluciones preparadas de 26.6 ppm, 13.3 ppm, 5.32 ppm, utilizando como blanco la gasolina sin plomo (gasolina blanca).

5. Después de cada lectura, se esperó un mínimo de 30 segundos aspirando gasolina blanca para eliminar perfectamente los vapores de la gasolina comercial que pudieran interferir en subsecuentes lecturas.

V.3. Procedimiento de cuantificación del contenido de plomo en filtros utilizados en el muestreo atmosférico.

1. El manejo de los filtros se llevó a cabo en cajas Petri desechables para evitar su contaminación, y se manipularon con pinzas cuyas puntas se recubrieron con plástico para evitar contaminación por hierro.

2. Previo a su uso, los filtros se pesaron en una balanza microanalítica marca Metler H-54 AR.

Después de su uso se pesaron nuevamente con sumo cuidado para evitar contaminación o pérdida de material recolectado. De esta forma se determinó el peso de las partículas recolectadas.

3. Posteriormente se hicieron observaciones al microscopio de dos filtros y para tal objeto se cortó un cuarto de cada filtro a observar para poder así digerir el resto del filtro dentro del menor intervalo de tiempo posible. Los filtros se procesaron lo más pronto posible con el objeto de evitar cualquier cambio o pérdida que pudiera sufrir la materia recolectada, debido a accidentes o manejos erróneos.

4. Se colocaron los filtros en vasos de precipitar de 50 ml cuyo fondo fuera mas o menos del tamaño del filtro, para que este pudiera tener toda la superficie expuesta al ácido aumentando así la eficiencia de extracción del plomo y del hierro. Se agregaron 3 ml de ácido nítrico concentrado de tal modo que el filtro quedara totalmente sumergido. Se pusieron los filtros a digerir en una estufa a una temperatura entre 80-90°C durante media hora, hasta casi evaporación.

5. Las gotas de ácido remanentes se transfirieron a un balón aforado de 10 ml. Se lavó repetidamente el filtro con agua destilada, reuniendo todos los lavados en el balón hasta llegar a la marca de aforación.

6.-Se analizó esta solución para determinar contenido de plomo y de hierro, por medio del espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Para consultar soluciones standard y curvas de calibración ver Apéndice IX.4.

7. Para verificar la completa extracción de plomo y hierro de filtros utilizados en el muestreo del aire, se hizo lo siguiente: después de que los filtros fueran procesados y extraídos con ácido, se les volvió a tratar de la misma forma con ácido y temperatura, se aforó nuevamente a 10 ml y se midió esta solución. Como resultado se obtuvieron niveles de plomo y hierro no detectables.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

Se presentarán los resultados y su respectiva discusión de acuerdo a la siguiente secuencia:

VI.1. PLOMO EN GASOLINA.

VI.1.A.-Cuadros de contenido de plomo en gasolina Super y Regular, variaciones con respecto a temporalidad, marca y localidad.

VI.1.B.-Discusión sobre niveles de plomo en gasolina Super y Regular.

VI.1.C.-Análisis estadístico: diferencias significativas del contenido de plomo en gasolina Super y Regular.

VI.2. NIVELES DE PLOMO Y HIERRO EN TIERRA DE CALLES DE LA ZONA 1.

VI.2.A.-Cuadros de contenido de plomo y hierro en tierra.

VI.2.B.-Discusión sobre niveles de plomo en tierra de calles.

VI.2.C.-Análisis estadístico: diferencias significativas de datos de contenido de plomo en tierra de calles.

VI.2.D.-Discusión sobre niveles de hierro en tierra de calles.

VI.2.E.-Análisis estadístico: diferencias significativas de datos de contenido de hierro en tierra de calles.

VI.3. NIVELES DE PLOMO, HIERRO Y PARTICULAS EN SUSPENSION EN AIRE.

VI.3.A.-Cuadros de contenido de plomo, hierro y partículas en suspensión en el aire de la zona 1.

VI.3.B.-Discusión de los niveles de plomo en el aire de la zona 1.

- VI.3.C.- Análisis estadístico: diferencias significativas de datos de contenido de plomo en aire de la zona 1.
- VI.3.D.- Discusión sobre niveles de hierro en aire de la zona 1.
- VI.3.E.- Análisis estadístico : diferencia significativa de datos de contenido de hierro en aire de la zona 1.
- VI.3.F.- Discusión de niveles de partículas en el aire.
- VI.3.G.- Modelos matemáticos que correlacionan viento con cantidad de plomo en el aire.

VI.1. PLOMO EN GASOLINA

-Marcas analizadas de gasolina Super y Regular: Esso
Texaco
Gulf
Shell
Chevron

-Se tomó en cuenta la variación con respecto a los siguientes parámetros: Localidad= variación entre diferentes expendios de la misma marca de gasolina. Se muestrearon 3 diferentes expendios de cada una de las marcas mencionadas anteriormente.

Temporalidad=variación dentro de un mismo expendio de gasolina de la misma marca. Se tomaron 3 muestras de gasolina de una misma gasolinera, a intervalos de 3-4 días, tiempo después del cual la gasolinera llenaba nuevamente su depósito. Se muestreó así tres veces un solo expendio de cada una de las marcas mencionadas anteriormente.

Marca = variación entre los niveles de plomo de las cinco marcas mencionadas anteriormente.

VI.1.A.-Cuadros de contenido de plomo en gasolina Super y Regular.

CUADRO 9 .

Contenido de plomo en gasolina Super: Variación por
localidad y marca .

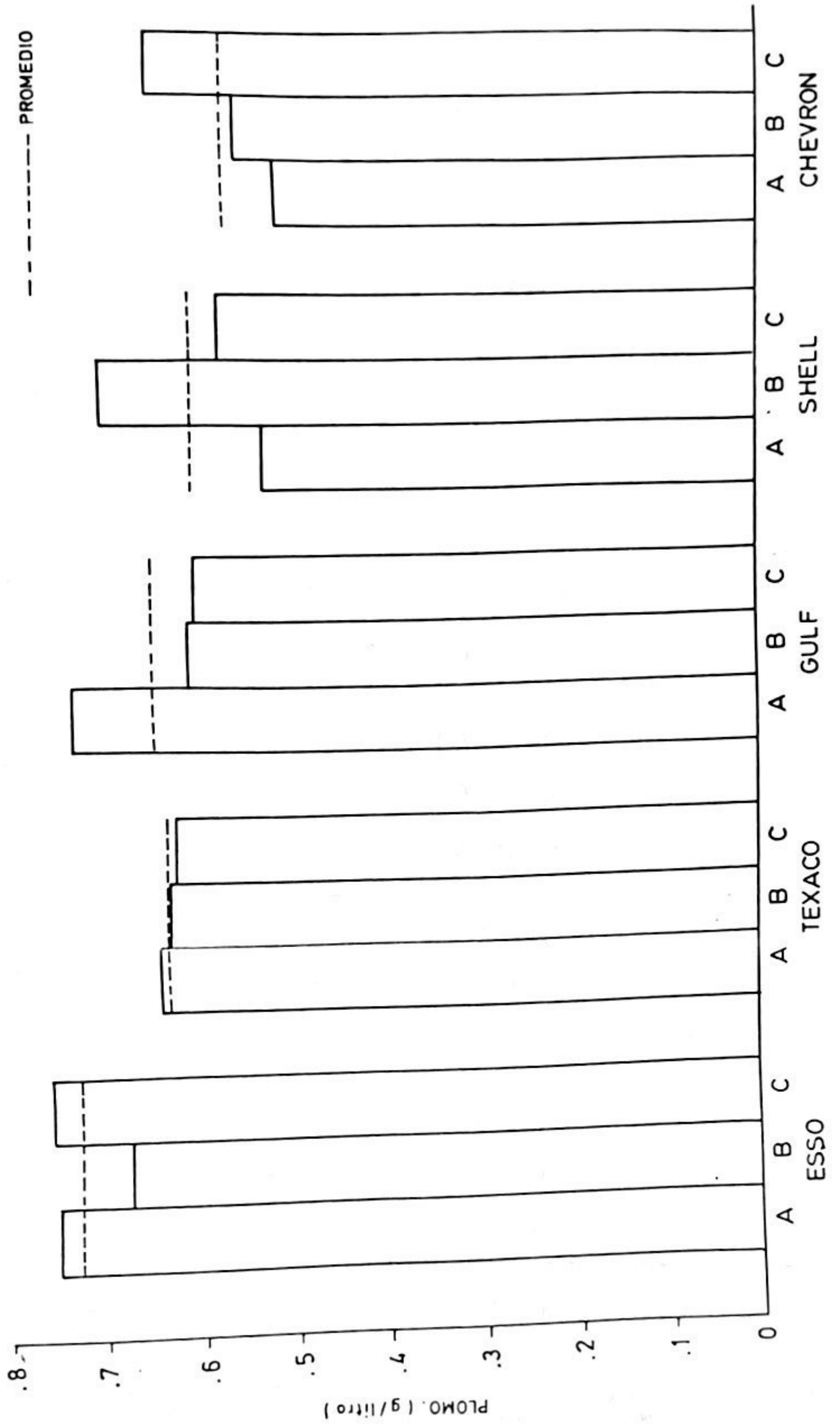
Marca y Expendio de gasolina.		ppm	Promedio	Concentración (g/l)
Esso	A	740 ± 6 *		
Esso	B	663.5 ± 9.5	719.5 ± 142.5 **	0.72 ± 0.14 **
Esso	C	755 ± 9.5		
Texaco	A	629 ± 6.5		
Texaco	B	620 ± 4	621.5 ± 19	0.62 ± 0.02
Texaco	C	616 ± 6		
Gulf	A	714 ± 7.5		
Gulf	B	590 ± 12.5	629 ± 215.5	0.63 ± 0.22
Gulf	C	582.5 ± 7		
Shell	A	515 ± 9.5		
Shell	B	680 ± 6.5	585 ± 249	0.59 ± 0.25
Shell	C	560 ± 6.5		
Chevron	A	502.5 ± 3.5		
Chevron	B	538 ± 7	556.5 ± 189	0.56 ± 0.19
Chevron	C	629 ± 12.5		

* Desviación standard del análisis de 3 mediciones de 1 muestra de cada expendio.

**Intervalo en el cual se encontró con un 90 % de confiabilidad, (Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 2.91$) el contenido de plomo de la misma marca, de diferente expendio (A, B, C).

FIGURA #5

CONTENIDO DE PLOMO EN GASOLINA SUPER
VARIACION POR LOCALIDAD Y MARCA



CUADRO 10.

Contenido de plomo en gasolina Super: Variación por temporalidad y marca .

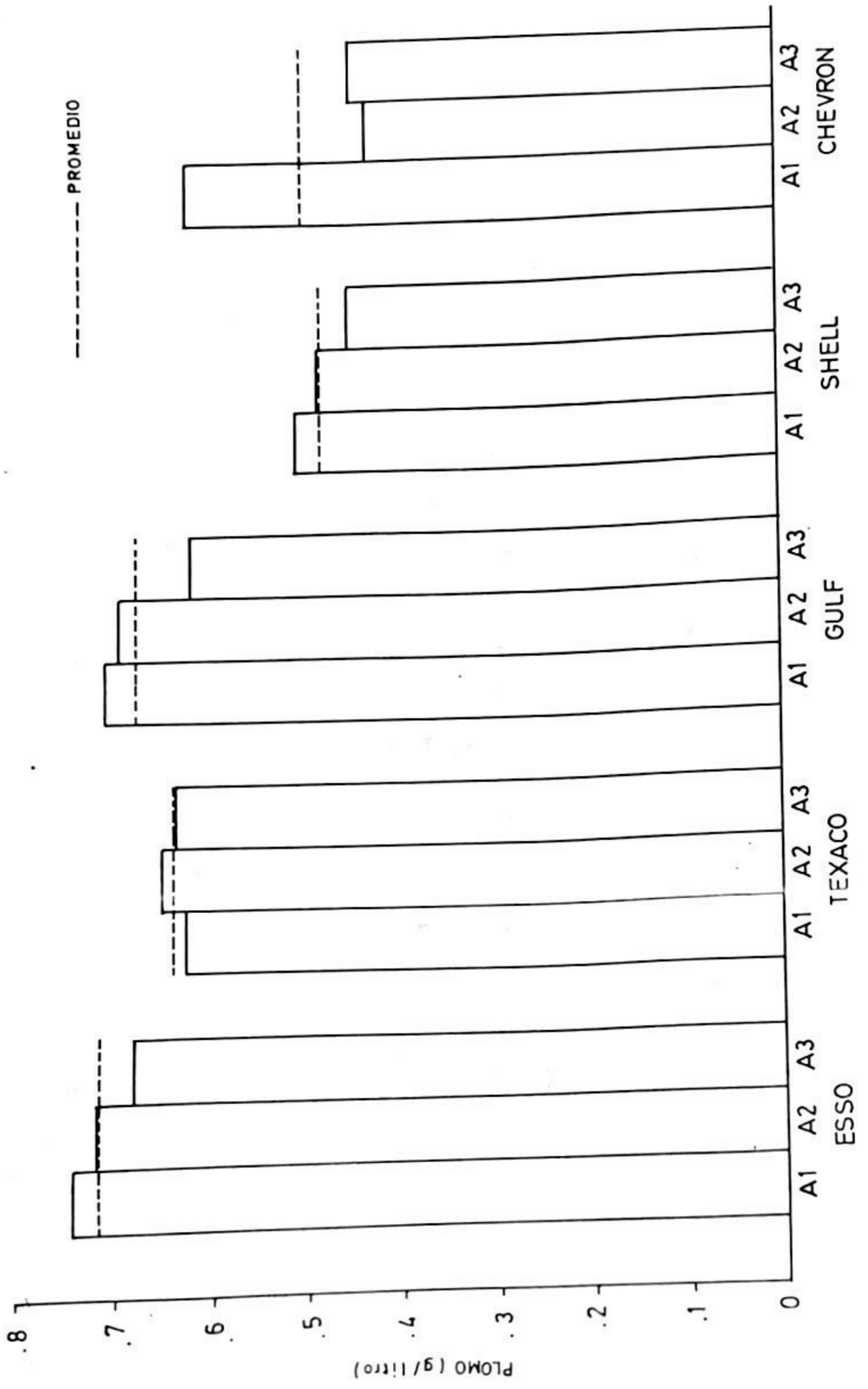
Marca de gasolina.		ppm	Promedio	Concentración(g/l)
Esso	A1	740 ± 6 *		
Esso	A2	716.5 ± 6.5	712 ± 89 **	0.71 ± 0.09 **
Esso	A3	680 ± 6.5		
Texaco	A1	629 ± 6.5		
Texaco	A2	650 ± 4	639.5 ± 30.5	0.64 ± 0.03
Texaco	A3	639 ± 3.5		
Gulf	A1	714 ± 7.5		
Gulf	A2	700 ± 6.5	679 ± 144	0.68 ± 0.14
Gulf	A3	622.5 ± 3.5		
Shell	A1	515 ± 9.5		
Shell	A2	489 ± 7	488 ± 80	0.49 ± 0.08
Shell	A3	460 ± 6		
Chevron	A1	629 ± 12.5		
Chevron	A2	437.5 ± 7	507.5 ± 305	0.51 ± 0.32
Chevron	A3	456.5 ± 7		

* Desviación Standard del análisis de 3 mediciones de 1 muestra de gasolina.

**Intervalo en el cual se encontró con un 90 % de confiabilidad, (Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 2.91$) el contenido de plomo en gasolina de la misma marca, del mismo expendio (A1,A2,A3).

FIGURA #6

CONTENIDO DE PLOMO EN GASOLINA SUPER
VARIACION POR TEMPORALIDAD Y MARCA



MARCAS DE GASOLINA SUPER

CUADRO 11 .

Contenido de plomo en gasolina Regular: Variación
por localidad y marca .

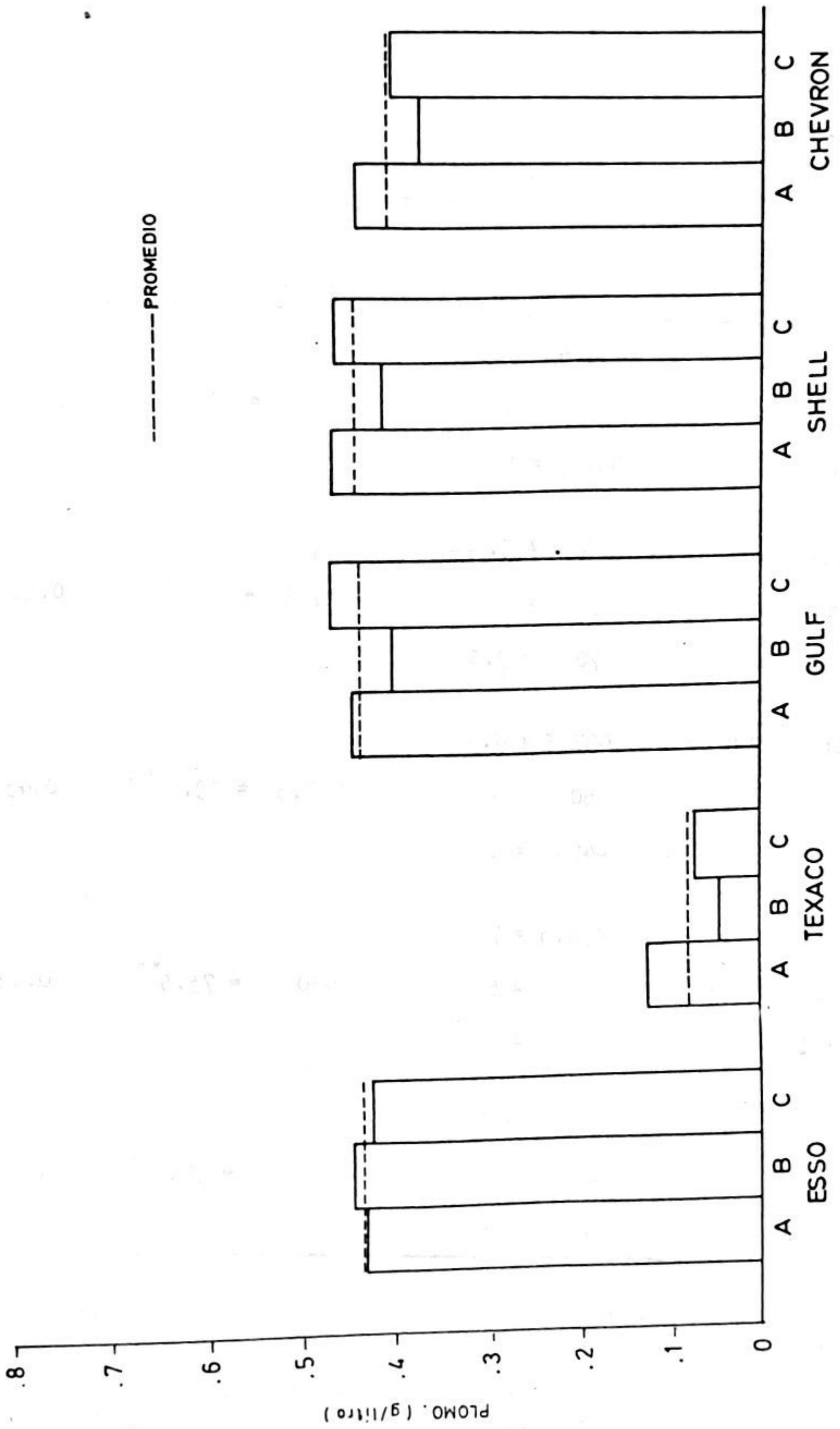
Marca y Expendio de gasolina.		ppm	Promedio	Concentración(g/l)
Esso	A	432.5 ± 3.5*		
Esso	B	447.5 ± 6	435 ± 33.34 ^{***a}	0.44 ± 0.03 ^{***a}
Esso	C	425 ± 3.5		
Texaco	A	124 ± 3.5		
Texaco	B	47.5 ± 3.5	80.5 ± 70 ^{***b}	0.08 ± 0.07 ^{***b}
Texaco	C	70 ± 3.5		
Gulf	A	437.5 ± 3.5		
Gulf	B	395 ± 7	431.5 ± 99 ^{***a}	0.43 ± 0.10 ^{***a}
Gulf	C	462.5 ± 9.5		
Shell	A	456.5 ± 7		
Shell	B	405 ± 6	439.5 ± 87.5 ^{***a}	0.44 ± 0.09 ^{***a}
Shell	C	456.5 ± 7		
Chevron	A	435 ± 6		
Chevron	B	365 ± 7	398.5 ± 102 ^{***a}	0.40 ± 0.10 ^{***a}
Chevron	C	395 ± 7		

* Desviación Standard del análisis de 3 mediciones de 1 muestra de cada expendio.

**Intervalo en el cual se encontró con un 90 % de confiabilidad(a)
(Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 2.91$) y 80% de confiabilidad(b)
(Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 1.89$) el contenido de plomo en
gasolina de la misma marca, de diferente expendio (A,B,C).

FIGURA # 7

CONTENIDO DE PLOMO EN GASOLINA REGULAR
VARIACION POR LOCALIDAD Y MARCA



MARCAS GASOLINA REGULAR

CUADRO 12 .

Contenido de plomo en gasolina Regular: Variación por temporalidad y marca.

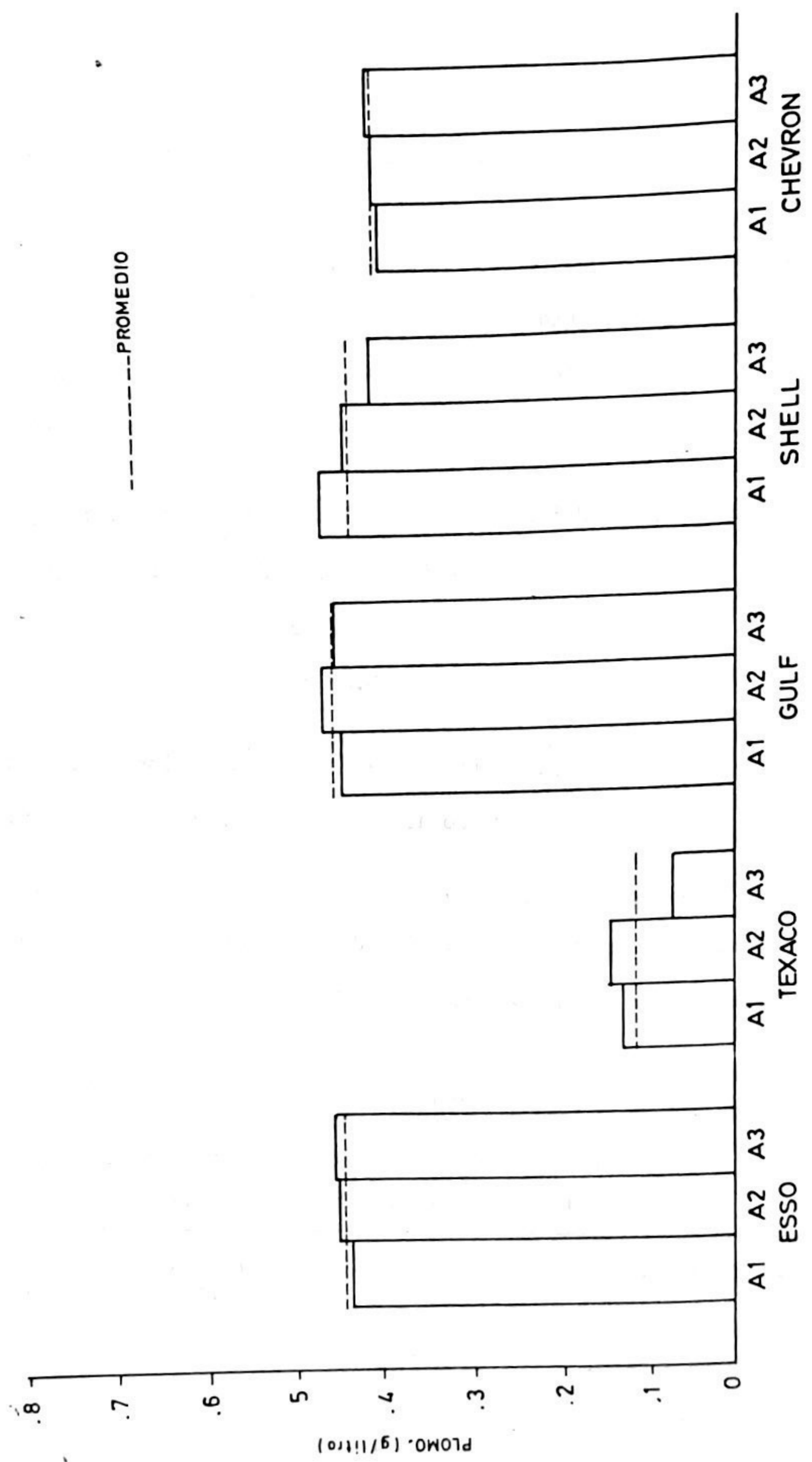
Marca de gasolina.		ppm	Promedio	Concentración (g/l)
Esso	A1	432.5 ± 3.5*		
Esso	A2	437.5 ± 9.5	439.17 ± 22.23**a	0.44 ± 0.02**a
Esso	A3	447.5 ± 6		
Texaco	A1	124 ± 3.5		
Texaco	A2	140 ± 6	111.5 ± 69**b	0.11 ± 0.07**b
Texaco	A3	70 ± 3.5		
Gulf	A1	437.5 ± 9.5		
Gulf	A2	460 ± 6	448.5 ± 33.5**a	0.45 ± 0.03**a
Gulf	A3	447.5 ± 6		
Shell	A1	456.5 ± 7		
Shell	A2	435 ± 6	430 ± 75.5**a	0.43 ± 0.08**a
Shell	A3	405 ± 6		
Chevron	A1	395 ± 7		
Chevron	A2	400 ± 7	400 ± 14.5**a	0.40 ± 0.02**a
Chevron	A3	405 ± 6		

* Desviación Standard del análisis de 3 mediciones de 1 muestra de gasolina.

**Intervalo en el cual se encontró con un 90 % de confiabilidad (a) (Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 2.91$) y 80% de confiabilidad (b) (Distribución de estudiante $t_{\alpha} = 1.89$) el contenido de plomo en gasolina de la misma marca, del mismo expendio (A1,A2,A3).

FIGURA # 8

CONTENIDO DE PLOMO EN GASOLINA REGULAR
VARIACION POR TEMPORALIDAD Y MARCA



MARCAS GASOLINA REGULAR

VI.1.B.- Discusión sobre niveles de plomo en gasolina Super y Regular.

La razón básica por la cual se determinaron los niveles de plomo en gasolina en el presente estudio, es la de tener una idea de la cantidad de plomo que expelen a la atmósfera los vehículos con motor de combustión interna; en base al consumo total de gasolina en la capital.

De tal modo, los datos que se necesitan para hacer tales inferencias son:

1. Promedios de contenido de plomo en gasolina
 - a. Super
 - b. Regular

2. Variabilidad existente en los contenidos de plomo de las gasolinas Super y Regular.

En los cuadros # 13, y # 14, se observa un resumen más detallado de los resultados generales de niveles de plomo en gasolina, incluidos en los cuadros # 9, 10, 11, y 12.

CUADRO 13 .

Contenido de plomo en gasolina Super y Regular en la Capital: marcas= Esso, Gulf, Texaco, Shell, Chevron.

Tipo de gasolina.	Contenido de Pb g Pb/litro	Promedio g Pb/litro	Desviación Standard del promedio de las cinco gasolinas.
Super: Variación por localidad y marca.	0.56-0.72	0.624	0.060
Super: Variación por temporalidad y marca.	0.49-0.71	0.606	0.100
Regular: Variación por localidad y marca.	0.08-0.44	0.358	0.156
Regular: Variación por	0.11-0.45	0.276	0.144

CUADRO 14 .

Contenido promedio y variabilidad de niveles de plomo en gasolina Super y Regular.

Tipo de Gasolina	Promedio general (g Pb/litro)	Variabilidad.
Gasolina Super	0.615 ± 0.079*	12.85 %
Gasolina Regular	0.362 ± 0.142	39.23 %

* Desviación Standard en base al promedio de 10 muestras de gasolina.

En los datos proporcionados por la literatura, el contenido de plomo en gasolina Super y en gasolina Regular, en los Estados Unidos, varía en un intervalo de 0.01-0.73 g de Pb/litro de gasolina. Con respecto al aditivo TEL (Tetraetilato de plomo), la gasolina contenía: (año 1974) 0.58-0.60 ml/l de TEL en gasolina Super y 0.5 ml/l de TEL en gasolina Regular; en los Estados Unidos.(24)

Esto implica un contenido de plomo en gasolina Super= 0.364 g Pb/l
 en gasolina Regular=0.303g Pb/l.

En 1971-1972, se reportaron los siguientes contenidos de plomo en gasolina vendida en el sur de California: (50)

<u>Tipo de gasolina</u>	<u>Contenido de plomo(g Pb/l)</u>
Super	0.73
Super intermedia	0.56
Regular normal	0.40
Sin plomo	0.01

Las limitaciones según la USEPA en los Estados Unidos, establecen un contenido de plomo en gasolina de 0.45 g Pb/l después de enero de 1975 y llegan hasta un 0.13 g Pb/l después de enero de 1979. (32)
(Ver cuadro # 6 del presente trabajo).

En los Estados Unidos se trató, al adoptar estas medidas reductoras del contenido de plomo en gasolina, de disminuir la cantidad de plomo expelido a la atmósfera.

En un estudio llevado a cabo en la ciudad de Nueva York, se demostró la eficacia de las medidas reguladoras mencionadas anteriormente, tal como se observa en el cuadro # 15.

CUADRO 15.

Contenido de plomo en aire en diferentes localidades de la ciudad de Nueva York. (51)

Contenido de plomo		N Y U Medical Center.			
en aire. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1969	1972	1973	1974	1975
	2.11	1.37	1.24	1.4	1.07
		Bronx, N.Y.			
Contenido de plomo	1968	1969	1972	1973	
en aire. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.82	2.76	2.00	1.58	
		Queens, N.Y.			
Contenido de plomo	1974	1975			
en aire. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.839	0.707			

El contenido de plomo en gasolina en N.Y. en el año de 1969 fué en promedio 2 g Pb/galón (0.53 g Pb/l); en 1972-1973 fue en promedio 0.75 g Pb/galón (0.20 g Pb/l). Datos de referencia de estudio anterior llevado a cabo en N.Y. (51)

La disminución del 38% del contenido de plomo en gasolina, de 1969 a 1972-1973, implicó a la vez una disminución del contenido de plomo en el aire:

Localización	Contenido de plomo en aire. ($\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$)		Disminución del contenido de Pb en aire.
	año 1969	año 1973	
N.Y.U. Medical Center	2.11	1.24	58.77%
Bronx, N.Y.	2.76	1.58	57.25%

Es notable que los niveles de plomo en la gasolina que se vende actualmente (1980) en Guatemala, son comparables a los niveles de plomo en gasolina de California en los años 1971-1972, y de gasolina de N.Y. en 1969.

	Año	Contenido de Pb en gasolina Super.	Contenido de Pb en gasolina Regular
Guatemala	1980	0.615 g Pb/l	0.362 g Pb/l
Nueva York	1969	0.53 g Pb/l	
California	1971-1972	0.73 g Pb/ l(Super)	
		0.56 g Pb/l(super int.)	0.40 g Pb/l

Esta situación es verdaderamente alarmante ya que con el aumento de vehículos en circulación en nuestra ciudad y sin la regulación apropiada del contenido de plomo en gasolina, los niveles de plomo en el aire que respiramos irá en aumento mientras esta situación persista.

Habiendo visto que existe una correlación positiva entre el disminuir y regular los contenidos de plomo en gasolina, y la disminución de los niveles de plomo en aire; es claramente conveniente disminuir (tal vez por legislación) nuestros niveles de plomo en gasolina.

A continuación se presenta un análisis de la variación del contenido de plomo con respecto a los diferentes parámetros estudiados: Marca, Temporalidad, Localidad.

Variación del contenido de plomo en gasolina Super, con respecto a las cinco marcas estudiadas.

Como puede observarse en las figuras # 5 y # 6 , la variación del contenido de plomo en gasolina Super de las cinco marcas estudiadas, es pequeña. El contenido promedio de plomo en gasolina Super es de 0.615 ± 0.079 g Pb/l. La desviación Standard corresponde a un 12.85 % de variación. Esta variación puede originarse en la diferencia de distribución y manejo de la gasolina, transporte y almacenamiento. También puede provenir del hecho que las mezclas de los aditivos a la gasolina se hace en Guatemala en las diferentes refinerías y así es imposible que se logre una homogeneidad de contenido de aditivo, y por consiguiente de plomo en la gasolina.

Variación del contenido de plomo en gasolina Regular, con respecto a las cinco marcas estudiadas.

Esta variación puede observarse en las figuras #7 y #8 . El contenido promedio de plomo en gasolina Regular es de 0.362 ± 0.142 lo cual equivale a una variación del 39.23 %. Este porcentaje es aproximadamente tres veces mayor que el encontrado en la gasolina Super.

La variación de contenido de plomo en gasolina Regular se debe a que una de las marcas de esta gasolina, Texaco, tuvo un contenido de plomo muy diferente (aproximadamente 5 veces menos) al encontrado en las cuatro marcas restantes; las cuales poseen niveles de plomo muy simila -

res entre sí:

Contenido de plomo en gasolina Texaco Regular: 0.08-0.11
g Pb/l

Contenido de plomo en gasolinas: Esso, Shell,
Gulf, y Chevron Regular: 0.40-0.45
g Pb/l

[La única explicación lógica de esta discrepancia en cuanto al contenido de plomo en Texaco regular, es la posibilidad de que Texaco use otros aditivos sin plomo, para obtener el octanaje necesario en la gasolina regular. Esta suposición implicaría que las refinerías se rigen con diferentes normas en cuanto al contenido de plomo en gasolina regular. No se consultó con las refinerías para elucidar más este aspecto.]

CUADRO 16.

Variación en el contenido de plomo en gasolina Super, con respecto al parámetro de temporalidad. (Ver cuadro # 10 y figura # 6)

Marca de gasolina Super	Contenido de plomo(g Pb/l)	% de variación*
Esso	0.71	4.3
Texaco	0.64	1.6
Gulf	0.68	7.3
Shell	0.49	5.6
Chevron	0.51	20.8

* Este porcentaje de variación se calculó en base a la desviación Standard de tres mediciones de muestras de la misma gasolinera.

CUADRO 17.

Variación en el contenido de plomo en gasolina Super, con respecto al parámetro de localidad. (Ver cuadro # 9 y figura # 5).

Marca de gasolina Super	Contenido de plomo (g Pb/l)	% de variación*
Esso	0.72	6.8
Texaco	0.62	1.1
Gulf	0.63	11.8
Shell	0.59	14.6
Chevron	0.56	11.7

* Este porcentaje de variación se calculó en base a la Desviación Standard de tres mediciones de una misma marca, en diferentes expendios.

Las variaciones de los cuadros # 9 y # 10 , de plomo en gasolina Super con respecto a los parámetros de localidad y temporalidad, se pueden justificar si se piensa en evaporaciones que pueden ocurrir en los depósitos (donde se evapora el TEL conjuntamente con la gasolina), y en que las gasolinas provenían de diferente stock de la refinería. O sea que cada vez que se tomó una muestra en las gasolineras, la gasolina provenía de un nuevo llenado del depósito . De esta forma sería improbable hallar exactamente el mismo contenido de plomo en gasolinas de diferentes llenados.

En los dos cuadros siguientes se muestra la variación en los niveles de plomo en gasolina Regular con respecto a temporalidad y localidad.

CUADRO 18 .

Variación en el contenido de plomo en gasolina Regular,
con respecto al parámetro de temporalidad. (Cuadro# 12
y figura # 8)

Marca de gasolina Regular	Contenido de plomo (g Pb/l)	% de variación*
Esso	0.44	1.7
Texaco	0.11	33
Gulf	0.45	2.5
Shell	0.43	6
Chevron	0.40	1.3

*Este porcentaje de variación se calculó en base a la desviación
standard de tres mediciones de muestras de la misma gasolinera.

CUADRO 19 .

Variación en el contenido de plomo en gasolina Regular,
con respecto al parámetro de localidad. (Ver cuadro # 11
y figura # 7)

Marca de gasolina Regular	Contenido de plomo (g Pb/l)	% de variación
Esso	0.44	2.6
Texaco	0.08	49
Gulf	0.43	7.9
Shell	0.44	7
Chevron	0.40	8.8

*Este porcentaje de variación se calculó en base a la desviación

... en diferentes expendios.

De los cuadros # 18 y # 19, se puede afirmar que la variación en el contenido de plomo de casi todas las marcas de gasolina Regular, es bastante pequeña y se puede explicar en base a factores tales como diferencia en el manejo, transporte y distribución de la gasolina. La única variación significativa entre las cinco marcas de gasolina regular estudiadas, se observa en la gasolina Texaco:

variación con respecto a temporalidad= 33%

variación con respecto a localidad = 49%

Estas variaciones son muy difíciles de explicar ya que son variaciones grandes dentro de la misma marca de gasolina regular.

De aquí que solo se puedan hacer suposiciones sobre las posibles causas que dan origen a esta variación. Entre ellas podemos mencionar:

- muestras de gasolina provenientes de diferente stock de la refinería, y por consiguiente conteniendo diferente cantidad de aditivo.
- normas no estrictas en cuanto al control de calidad de la gasolina regular.
- uso de combinaciones de diferentes aditivos en la gasolina, implicando que no siempre se usa la misma proporción de aditivos de plomo con respecto a otros aditivos.

Como se mencionó anteriormente, no se tuvo la oportunidad de consultar con las diferentes refinerías para elucidar con claridad este aspecto.

VI.1.C.- Análisis estadístico: diferencias significativas
del contenido de plomo en gasolina Super y Regular.

El análisis estadístico tiene el objeto de presentarnos con mayor seguridad, el hecho de que los niveles de plomo en gasolina sean diferentes o equivalentes entre sí. Este análisis, debe aplicarse a todas las parejas de datos que se puedan construir en base a un número inicial de resultados. Por ejemplo, si se tienen 5 resultados de niveles de plomo en las diferentes marcas de gasolina; se deben analizar diez parejas de datos. Luego en base a este análisis y a los valores de t hallados, se puede afirmar cuales gasolinas poseen niveles mayores o menores de plomo que otras.

Para el procedimiento y fórmulas usadas en el análisis estadístico, por favor dirigirse al Apéndice # IX.5

Análisis en gasolina Super. (Cuadro # 20)

Podemos afirmar (p menor de .05) que los contenidos de plomo en gasolina Super, parámetros de localidad y marca, caen dentro de un mismo intervalo. Lo anterior implica que la variación en los resultados de estas marcas, no es significativa y por lo tanto no es posible decidir cual gasolina Super tiene mayor o menor contenido de plomo que las restantes.

La variación de resultados de contenido de plomo en gasolina Super con respecto a Temporalidad, fué mayor (ver cuadro # 16) que la variación con respecto a la localidad. Por lo tanto, al realizar el análisis estadístico en gasolina Super con respecto a temporalidad, se pudo diferenciar con p menor de .05 los pares de datos:

Pares de datos diferentes.		Contenido de plomo.
Esso	t= 3.17	0.71± 0.09 g Pb/l
Shell		0.49± 0.08 g Pb/l
Texaco	t= 3.03	0.64± 0.03 g Pb/l
Shell		0.49± 0.08 g Pb/l

En general, podemos afirmar que con una variación de aproximadamente 12 %, los contenidos de plomo en gasolina Super son similares entre sí.

Análisis en gasolina Regular: (Cuadro #21)

El análisis estadístico del contenido de plomo en gasolina regular, dió como resultado valores de t análogos tanto para el muestreo con respecto a temporalidad como para la localidad. Esto puede observarse en la siguiente comparación de pares de datos y de t:

Marca de gasolina	Contenido de plomo (g Pb/l)	Valor de t Localidad	t Temporalidad
Esso	0.44-0.44	5.47	5.6
Texaco	0.08-0.11		
Texaco	0.08-0.11	4.08	5.64
Gulf	0.43-0.45		
Texaco	0.08-0.11	4.39	4.33
Shell	0.44-0.43		
Texaco	0.08-0.11	3.75	4.93
Chevron	0.40-0.40		

Podemos afirmar (p=.05) que los contenidos de plomo en gasolina regular Texaco son menores de las 4 marcas restantes, las cuales no difie-

CUADRO 20 .

Análisis estadístico de diferenciación de datos.(52)

(Test estadístico t)

Contenido de plomo en gasolinas Super.

Marcas de gasolina Super comparadas entre sí.	Valor de t* para parámetros:	
	Localidad y marca	Temporalidad y marca
Esso Texaco	1.225	1.28
Esso Gulf	0.60	0.312
Esso Shell	0.79	3.17
Esso Chevron	1.18	1.04
Texaco Gulf	0.08	0.482
Texaco Shell	0.21	3.03
Texaco Chevron	0.54	0.70
Gulf Shell	0.21	2.03
Gulf Chevron	0.42	0.84
Shell Chevron	0.17	0.11

* Valor de t para encontrar diferencia significativa entre pares de datos con $p = 0.05$ es de 2.78 para $N(\text{grados de libertad}) = 4$

CUADRO 21 .

Análisis Estadístico de diferenciación de datos.(52)

(Test estadístico t.)

Contenidos de plomo en gasolina Regular.

Marcas de gasolina Regular comparadas entre sí.	Valor de t* para parámetros:	
	Localidad y marca	Temporalidad y marca
Esso Texaco	5.47	5.6
Esso Gulf	0.17	0.48
Esso Shell	0.00	0.21
Esso Chevron	0.66	2.45
Texaco Gulf	4.08	5.64
Texaco Shell	4.39	4.33
Texaco Chevron	3.75	4.93
Gulf Shell	0.13	0.41
Gulf Chevron	0.37	2.40
Shell Chevron	0.515	0.63

*Valor de t para encontrar diferencia significativa con $p=0.05$
es de 2.78 para $N(\text{grados de libertad})=4$

VI.2. NIVELES DE PLOMO Y HIERRO EN TIERRA DE LAS CALLES.

-Localidades muestreadas:

- 9 calle 10 av.
- 7 av 12 calle.
- 13 av 9 calle.
- 11 av 14 calle.
- 6 calle 5 av.
- 18 calle 5 av.
- 6 av 15 calle.
- 6 av 2 calle.
- 1 calle 10 av.
- V.H.III.U.del Valle.

-Fecha del muestreo: junio de 1979.

-Se expresan los contenidos de plomo y hierro como

μg de Fe y Pb / gramo de tierra.

y además se presentan los % en peso de estos dos elementos en la tierra.

VI.2.A.-Cuadros de contenidos de plomo y Hierro en tierras.CUADRO 22 .

Niveles de plomo* en tierra de las calles.

Localidad	Concentración de plomo en tierra ($\mu\text{g Pb/g}$)	Desviación Standard **	% en peso
9 calle 10av	320	25.6	0.032
7av 12 calle	236.7	28.43	0.024
13av 9calle	295	46.4	0.0295
11av 14 calle	320	41.66	0.032
6 calle 5 av	155	27.45	0.016
18 calle 5av	88	9.13	0.008
6av 15 calle	380	118.29	0.040
6av 2 calle	276.7	52.7	0.028
1calle 10av	150	4.89	0.015
V.H.III U.del Valle. Detrás Labs.	25	6.67	0.003
Bosque V.H.III	no de- tectable.	n.d.	n.d.

* Se trabajó en el rango lineal con una escala de 100= 20ppm Pb.

**Desviación Standard en base a 2-4 mediciones de alíquotas de una sola muestra original. La variación se debe a la falta de homogeneidad de la muestra.

CUADRO 23 .

Niveles de Hierro * en tierra de las calles.

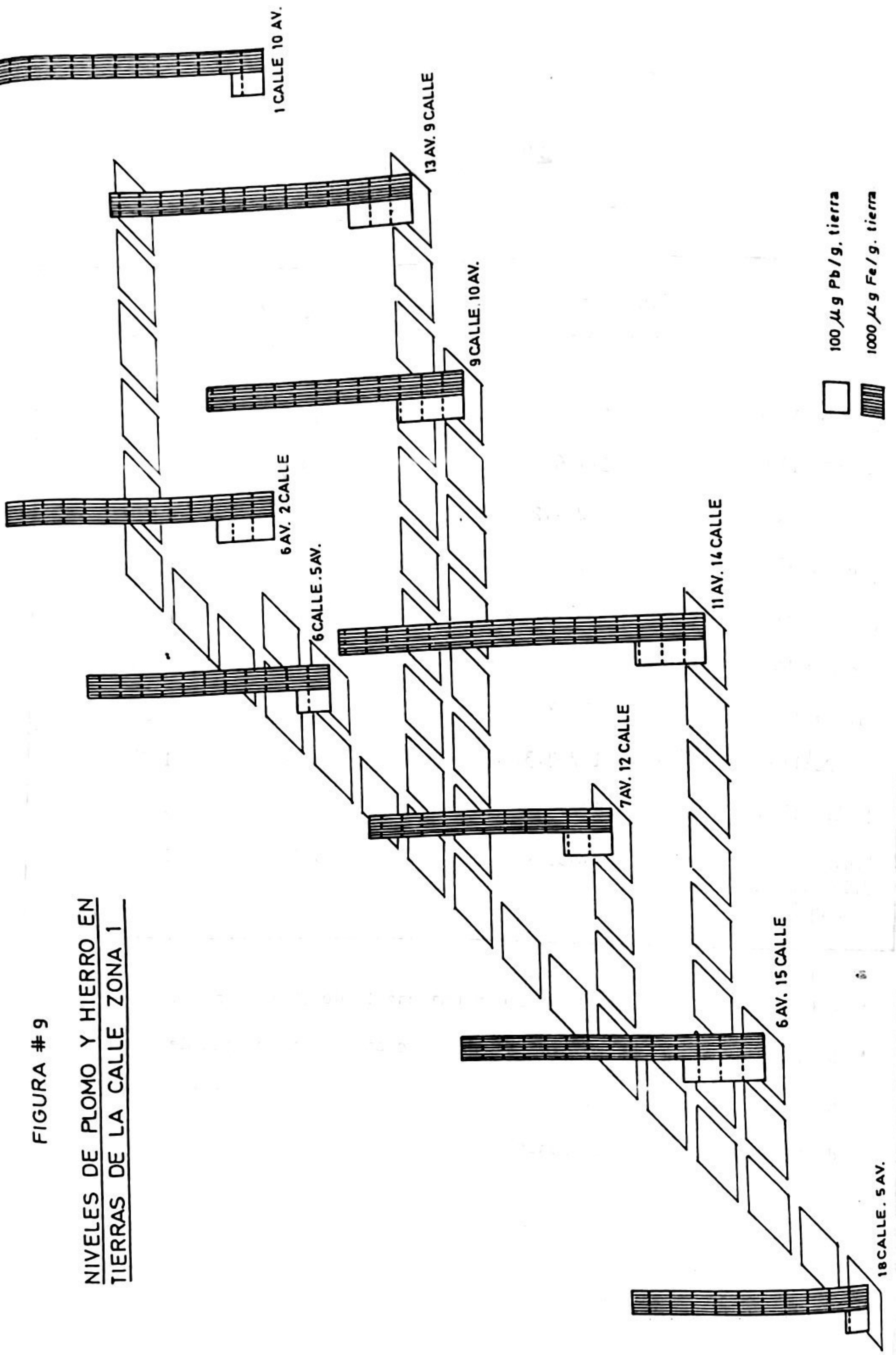
Localidades	Concentración de hierro en tierra ($\mu\text{g Fe/g}$)	Desviación Standard **	% en peso
9 calle 10av	12120	1146	1.21
7av 12calle	11446.7	408.7	1.15
13 av 9calle	14224.2	1331.4	1.4
11av 14calle	17759.2	2376.2	1.8
6calle 5av	11446.7	1962	1.15
18calle 5av	10605	1457	1.06
6av 15calle	13803	1823.4	1.38
6av 2calle	12793.3	2034	1.28
1calle 10av	14224.2	1416.7	1.4
V.H.III U.del Valle Detrás Labs.	12035.8	361	1.2

* Se trabajó en el rango lineal con una escala de 100=10ppm Fe.

** Desviación Standard en base a 2-3 mediciones de alíquotas de una sola muestra original. La variación se debe a la falta de homogeneidad de la muestra.

FIGURA # 9

NIVELES DE PLOMO Y HIERRO EN TIERRAS DE LA CALLE ZONA 1



VI.2.B.- Discusión sobre niveles de plomo en tierra de las calles.

El muestreo y análisis de plomo en tierras de calles se llevó a cabo con la intención de lograr una idea general de las localidades más contaminadas para luego llevar a cabo en estas el muestreo del aire.

El contenido de plomo en tierras de la zona 1 de esta capital, cae en un intervalo que va desde 88 μg de Pb/g de tierra hasta 380 $\mu\text{gPb/g}$, como se observa en los cuadros #22 y figura # 9

CUADRO 24A. (Grupo A)

Contenidos mayores de plomo en tierra de las calles.

Lugar:	Contenido de plomo (ppm= μg Pb/g)	Desviación .Std.	
		ppm	%
6 av 15 calle	380	118.3	31
11 av 14 calle.	320	41.66	13
9 calle 10 av.	320	25.6	8
6 av 2 calle.	276.7	52.7	19
13 av 9 calle.	295	46.4	15.7
7 av 12 calle.	236.7	28.4	12

CUADRO 24B. (Grupo B)

Contenidos de plomo menores en tierra de las calles.

Lugar	Contenido de plomo (ppm= $\mu\text{gPb/g}$)	Desviación Std.	
		ppm	%
6 calle 5 av.	155	27.45	18
1 calle 10 av.	150	4.9	3
18 calle 5 av.	88	9.13	10

CUADRO 24C. (Grupo C)

Contenidos de plomo de referencia de un área poco contaminada.

Lugar	Contenido de plomo (ppm= $\mu\text{gPb/g}$)	Desviación Std.	
		ppm	%
U. del Valle VHIII.	25	6.67	27
Bosque H. del Valle	no detectable		

Datos de la literatura (EEUU) nos indican que se encuentra plomo en suelos con un promedio de $15 \mu\text{g/g}$.(53) En suelos agrícolas (Grand Rapids, Michigan) se han encontrado niveles de $15.4 \pm 14.9 \text{ ppm}$.(54) En Canadá se llevó a cabo un muestreo de 700 suelos agrícolas y se encontró plomo con un promedio de 9.1 ppm .(55)

En base a los datos anteriores podemos sospechar que los suelos estudiados con excepción del suelo de bosque, poseen niveles que indican una contaminación en mayor o menor grado, provocada por factores antropogénicos. Debido que el contenido de plomo en la muestra de suelo tomada en la Universidad del Valle detrás de los laboratorios, está muy cerca del rango promedio de 15.4 ± 14.9 mencionado anteriormente, no se puede dilucidar con certeza si estos $25 \pm 6,67 \text{ ppm}$ son de origen automotriz o de origen natural de la tierra. Sin embargo, el hecho que en tierra del bosque UDV, no fué detectable (menor del límite de detección) el plomo, provee un indicio que la tierra analizada cerca de la calle de acceso de laboratorios sí tiene contaminación automotriz.

Habría que hacer un estudio para determinar el contenido de plomo natural en tierras de Guatemala. Teniendo estos datos, se podría inferir con bastante exactitud la contribución de plomo natural al contenido de plomo total hallado en el presente estudio. La única medición de este tipo es la muestra tomada en el bosque pero debido al límite de detección del aparato y a la dilución un poco alta de la muestra(25 ml) no se logró detectar plomo.

Por falta de información apropiada en cuanto a contenido de plomo en tierras de Guatemala, se tomará el dato de la literatura de 15ppm para lograr tener una idea aproximada de qué porcentaje de plomo, como máximo, de nuestras mediciones podría ser de origen natural.

El promedio de plomo en tierras de las calles de la zona 1 es de 247 ± 97 ppm. Si la contribución por fuentes naturales se toma como aproximadamente 15 ppm, se tiene que sólo un 6 % del plomo analizado proviene propiamente del contenido natural de la tierra; mientras que un 94% es de origen antropogénico. Entendiendo por origen antropogénico, la contaminación proveniente de fuentes automotrices, en nuestro caso, debido a la escasez de industrias u otras operaciones que utilicen plomo.

A partir de los resultados se concluye directamente que las localidades de mayor contenido de plomo (Cuadro #24A) son también las que parecen poseer el mayor flujo de tráfico automotriz. Esta afirmación se hace en base únicamente a observaciones informales ya que no se contó con un aparato contador de vehículos durante el estudio.

La muestra tomada en la 18 calle 5 av, denota contenidos de plomo bajos a pesar de que en este lugar generalmente hay un alto flujo de vehículos. Esto se debe a que al recolectar la muestra, no se encontró suficiente material en la orilla de la acera porque habían pasado los barrenderos y así se recolectó la muestra en un agujero de asfalto a media calle. Por lo tanto, esta muestra no se puede comparar con el resto ya que al cambiar el punto y estrato de recolección de la muestra, se cambió el parámetro de uniformidad; requisito indispensable para poder comparar las muestras entre sí.

Las muestras de menor contenido de plomo fueron las tomadas en las aceras cerca de dos parques: - 6 calle 5 av. = Parque Centenario
- 1 calle 10 av. = Parque Isabel Católica.
cuyos contenidos de plomo fueron respectivamente 155 ± 27.45 ppm y 150 ± 4.9 ppm. Estos resultados nos muestran que cerca de los parques, el plomo se diluye más o sea disminuye su porcentaje en peso en la tierra. Esto puede deberse al hecho de que cerca de estas aceras hay más tierra proveniente de los parques, cuyo contenido de plomo es mínimo. Sin embargo el hecho de que estas localidades posean menor cantidad de plomo que las restantes, puede provenir también por causas de menor flujo de tráfico automotriz en estas localidades.

La variabilidad de los contenidos de plomo en la muestra de tierra de las diferentes localidades, es del 3 al 31%. Esto se debe a la falta de homogeneidad de la muestra, ya que el análisis se efectuó en diferentes alíquotas de una sola muestra tomada en cada localidad.

Para homogeneizar las muestras se aconseja en estudios futuros, tamizar las muestras de suelos por un cedazo de 2 mm (10 mesh). De esta forma se homogeneizará la muestra en cuanto al tamaño de sus partículas y así no habrá tanta variabilidad dentro de una misma muestra. Así mismo, es conveniente tomar varias muestras del polvo acumulado en varios sitios en la calle y en la acera. Probablemente una técnica adecuada sea la de aspiración del material depositado en un área medida. (49)

En los EEUU, Urbana Illinois, se llevó a cabo un estudio sobre contenido de plomo en polvo de una comunidad Urbana y se encontraron los siguientes resultados: (49)

- Contenido de plomo en polvo cerca de casas 130-11760ppm
- Contenido de plomo en polvo cerca de carreteras. 240-6640 ppm
- Contenido de plomo en tierras 20-1060 ppm
- Contenido de plomo en aceras 590 ppm rango 240-2790
- Contenido de plomo en el parque de las calles. 180 ppm rango 90-470
- Contenido de plomo en la cuneta 1140 ppm rango 290-5020
- Contenido de plomo en polvo de residencias 600 ppm
- Contenido promedio de plomo el los 15 cm de suelos cerca de carreteras. 228 ppm

En otras localidades en los Estados Unidos se encontraron los siguientes niveles de plomo en suelos:(31)

- Denver 960 $\mu\text{g/g}$
- Missouri 1540 $\mu\text{g/g}$
- Chicago 2100-7000 $\mu\text{g/g}$
- Fort Collins 1900-2000 $\mu\text{g/g}$

En Baltimore-Washington (10), se hizo un estudio correlacionando los niveles de plomo encontrados en los suelos con la distancia a partir de carreteras de mucho tráfico. Los niveles de acumulación fueron proporcionales al relacionarlos al volumen de tráfico e inversamente relacionados con respecto a la distancia a partir de la carretera.

Este estudio nos presenta nuevamente la proveniencia de origen automotriz del plomo. Se presentan a continuación los resultados hallados:

Densidad de tráfico Lugar.	Fecha	Suelos Contenido de plomo	Lombrices de tierra. Contenido de plomo
47,800 vehículos/día Baltimore parkway	oct.nov 1970	227.8ppm	120.0 ppm
44,500 vehículos/día Baltimore parkway	nov.dic 1970	93.4 ppm	106.5 ppm
25,100 vehículos/día U.S. Highway 1	nov.1970	63.7 ppm	64 ppm
25,600 vehículos/día U.S.Highway 1	dic.1970	83.5 ppm	76.7 ppm

Para verificar la importancia de la uniformidad del punto de recolección de muestras de suelos en todas las localidades, se presentan datos de este mismo estudio (10) en el que se determina la cantidad de plomo en muestras tomadas a diferentes distancias a partir de la calle.

Distancia desde la calle. (m) Lugar.	Plomo (ppm)		
	Suelos	Lombrices.	
Baltimore-Washington Parkway.	3.0	700	331.4
	6.1	204.3	168.3
	12.2	94.2	101.7
	24.4	60.1	49.2
	48.8	81.6	67.4
U.S.Highway 1	3.0	313.3	219.7
	6.1	90.3	76.0
	12.2	54.1	63.6
	24.4	38.6	38.5
	48.8	34.9	41.2

En suelos de diferentes granjas en distritos de Canadá(55) se encontraron niveles de plomo en suelos que caen en un intervalo de 6.3-24.3 ppm, además se presentan promedios generales de otras regiones:

-California EEUU	125.9 ppm Pb
-Nueva Zelanda	41.1 ppm Pb
-Columbia Británica	51.8 ppm Pb

Aunque los datos mencionados anteriormente, (estudios llevados a cabo en diferentes países), nos pueden dar una idea de los contenidos de plomo en suelos de otras ciudades, no se pueden comparar directamente con los resultados del presente estudio por las siguientes razones: - El tipo de muestreo fué diferente: en el presente estudio se muestreó la tierra de la orilla de la acera, tomando aproximadamente los 2.5 cm de suelo. En otros estudios se usaron técnicas de muestreo por aspiración (49), con aparatos diseñados para muestreo de suelos, polvo etc. Estos diferentes tipos de muestreo implican también diferente estratificación (toma de muestra de diferentes estratos del polvo de las calles), y por lo tanto diferente contenido de plomo. Debido a la poca materia recolectable encontrada en las orillas de las aceras de la zona 1, no se pudo seguir una técnica homogénea de muestreo. En futuros estudios se deberá muestrear la tierra de las calles a horas muy tempranas del día o sea cuando no hayan pasado los barrenderos ya que los estratos se alteran y por lo tanto también el contenido de plomo. - Falta de información específica del lugar de recolección de la muestra. Se ha verificado en diferentes estudios (10) (55) la relación existente entre el contenido de plomo en tierra de los suelos, y distancia de estos a partir de la fuente de plomo(carreteras con tráfico). En la ma-

yoría de estudios llevados a cabo en otros países no se especifica el lugar de recolección de la muestra, dando únicamente información sobre promedios generales de contenido de plomo en suelos de diferentes regiones geográficas.

-Falta de información sobre condiciones meteorológicas predominantes durante la época en que se llevó a cabo el muestreo de suelos. Este parámetro es sumamente importante ya que factores tales como lluvia, viento, etc, alteran los contenidos de plomo en tierras de las calles; p.ej. por mecanismos de lavado o de arrastre. El muestreo de suelos en el presente estudio se llevó a cabo en junio de 1979, época mas o menos lluviosa en Guatemala. Podríamos suponer entonces que los niveles de plomo encontrados en las calles no son necesariamente los más altos del año. En los estudios llevados a cabo en otros países no se mencionan datos sobre condiciones meteorológicas (lluvia, nieve, viento) y por lo tanto no podemos hacer inferencias muy precisas.

-Falta de datos sobre contenido de plomo natural en suelos de Guatemala. Como se mencionó anteriormente, el no saber los niveles base de plomo en nuestros suelos nos impide el saber con precisión la contribución de plomo natural a los resultados hallados en el presente estudio, aunque se espera que esta contribución no sea muy significativa.

A pesar de las inconveniencias mencionadas anteriormente por falta de información, podemos afirmar que las tierras de las calles de la zona 1 están contaminadas con niveles de plomo de hasta 25 veces los niveles encontrados en forma natural en la tierra. Este plomo proviene definitivamente de las emisiones automotrices ya que no existen industrias de acumuladores o de plomo propiamente dichas en el área.

Entre las implicaciones graves que provienen del hecho de la contaminación de tierras por plomo tenemos:

-El polvo sedimentado que posee niveles altos de plomo, puede reentrar nuevamente a la atmósfera a causa de vientos y turbulencias y así pasar a formar parte nuevamente del aire que respiramos.

-Los niños que viven y juegan en estas áreas contaminadas pueden ingerir el plomo a partir del plomo de la tierra. Un niño puede tener aproximadamente 10 mg de polvo en sus dedos(49), si este niño se lleva sus dedos a la boca varias veces al día, ingerirá hasta un promedio de $60 \mu\text{g Pb/día}$. Si este niño pasa mucho tiempo en la calle, su promedio de ingestión aumentará. La ingestión máxima de plomo permisible por día es de 70-500 $\mu\text{g Pb/día}$ (49) de tal manera que es peligroso llegar a niveles de ingestión de plomo altos debido a la contaminación de polvo y tierra de la ciudad.

-El plomo de la tierra de la calle se transporta y acumula en lugares tales como oficinas, casas de habitación, escuelas, etc. Esto no es conveniente ya que en estos lugares la gente permanece la mayor parte del día trabajando en actividades diversas y por lo tanto están en contacto con el polvo el cual está contaminado con plomo.

-En subsecuentes estudios se aconseja muestrear polvo sedimentado en interiores de los lugares mencionados anteriormente para determinar su contenido de plomo. Es importante saber el nivel de contaminación por plomo del polvo, para conocer así a qué niveles están expuestas las personas que pasan en esos lugares gran parte del día.

VI.2.C.-Análisis estadístico del contenido de plomo en tierras,

En la página #79, se dividieron las localidades en tres grupos de acuerdo a su contenido de plomo:

Grupo A= niveles mayores

Grupo B= niveles menores

Grupo C= niveles poco contaminados.

El análisis estadístico nos demuestra que con $p=.05$ estos tres grupos son distintos entre sí. (Cuadro #25). Para comparar estadísticamente el grupo A con el grupo B, se tomó el dato del grupo A de menor contenido de plomo, 7 av 12 calle, y se comparó con cada una de las tres localidades del grupo B. De esa forma nos aseguramos que si comparamos cualquier otra localidad del grupo A (la cual tendrá mayor contenido de plomo que la 7 av 12 calle) con el grupo B, al aumentar la diferencia entre los niveles de plomo, aumentaría también el valor de t. Esta afirmación es válida siempre que el dato de menor contenido de plomo tenga una desviación standard típica en el grupo, lo cual si se cumple. (Ver Cuadro #25)

Con respecto a los grupos B y C se hizo lo mismo: se tomó la localidad de B de menor contenido de plomo y se comparó con C. Debido a que las otras dos localidades de B tienen niveles de plomo más altos, al compararlas con C nuevamente tendríamos valores de t mayores.

Del análisis estadístico del grupo A (Cuadro # 25) se puede deducir lo siguiente: la localidad de la 7 av 12 calle posee menor cantidad de plomo que las localidades de la 11av 14 calle y 9 calle 10 av. Al comparar todas las otras localidades del grupo A entre sí, no se pueden diferenciar a un nivel de significancia de 95 % de confiabilidad.

Del análisis estadístico del grupo B (Cuadro # 25), se tiene que la localidad de la 18 calle 5 av, tiene niveles de plomo menores que las localidades de la 6 calle 5 av y 1 calle 10 av.

Estas diferencias son significativas pero se incluye la localidad de la 18 calle 5 av en el grupo B, debido a que en general una comparación con los datos del Grupo A y del grupo C, demuestra que esta localidad es más diferente de los grupos A y C que del grupo B.

En el grupo C no se pueden hacer comparaciones ya que un dato dió un resultado de plomo no detectable.

CUADRO 25.

Análisis estadístico de datos de contenido de plomo en tierras.

(Test estadístico t, Apéndice I(5))

Localidades Grupo A.	Contenido de plomo ppm	Desv.Std. ppm	N*	t**	Diferencia significativa
6 av 15 calle	380	118.3	4	0.82	nó
11 av 14 calle	320	41.66			
6 av 15 calle	380	118.3	5	0.99	nó
9 calle 10 av	320	25.6			
6 av 15 calle	380	118.3	4	1.39	nó
6 av 2 calle	276.7	52.7			
6 av 15 calle	380	118.3	4	1.16	nó
13 av 9 calle	295	46.4			
6 av 15 calle	380	118.3	4	2.01	nó
7 av 12 calle	236.7	28.4			
11 av 14 calle	320	41.66	5	0.00	nó
9 calle 10 av	320	25.6			
11 av 14 calle	320	41.66	4	1.12	nó
6 av 2 calle	276.7	52.7			
11 av 14 calle	320	41.66	4	0.70	nó
13 av 9 calle	295	46.4			
11 av 14 calle	320	41.66	4	2.86	sí, p < .05
7 av 12 calle	236.7	28.4			
9 calle 10 av	320	25.6	5	1.46	nó
6 av 2 calle	276.7	52.7			
9 calle 10 av	320	25.6	5	0.92	nó
13 av 9 calle	295	46.4			
9 calle 10 av	320	25.6	5	4.08	sí, p < .01
7 av 12 calle	236.7	28.4			
6 av 2 calle	276.7	52.7	4	0.45	nó
13 av 9 calle	236.7	46.4			
6 av 2 calle	276.7	52.7	4	1.16	nó
7 av 12 calle	236.7	28.4			
13 av 9 calle	295	46.3	4	1.88	nó
7 av 12 calle	236.7	28.4			

Continuación del CUADRO 25 .

Análisis estadístico de contenidos de plomo en tierras.

Localidad Grupo B	Contenido de plomo ppm	Desv.Std. ppm	N*	t**	Diferenciación significativa
6 calle 5 av 1 calle 10 av	155 150	27.45 4.9	4	0.31	no
6 calle 5 av 18 calle 5 av	155 88	27.45 9.13	3	4.01	si, p < .05
1 calle 10 av 18 calle 5 av	150 88	4.9 9.13	3	10.37	si, p < .01
Localidad Grupo C					
U.del Valle Bosque VHIII	25 n.d.	6.67 ----	-	---	-----
Comparación A y B					
6 calle 5 av (B) 7 av 12 calle(A)	155 236.7	27.45 28.4	4	3.6	si, p < .05
1 calle 10 av(B) 7 av 12 calle(A)	150 236.7	4.9 28.4	4	5.21	si, p < .01
18 calle 5 av(B) 7 av 12 calle(A)	88 236.7	9.13 28.4	3	8.64	si, p < .01
Comparación A y C					
U del Valle (C) 7 av 12 calle(A)	25 236.7	6.67 28.4	3	9.87	si, p < .01
Comparación B y C					
U del Valle. (C) 18 calle 5 av(B)	25 88	6.67 9.13	2	8.23	si, p < .05

* # de grados de libertad= N

** Valor de t para encontrar diferencia significativa:

con p= 0.05	N=2	t=4.3	con p = 0.01	N=3	t=5.84
	N=3	t=3.18		N=4	t=4.60
	N=4	t=2.78		N=5	t=4.03
	N=5	t=2.57			

VI.2.D. Discusión sobre niveles de hierro en tierra de las calles.

El muestreo y análisis de hierro en tierras de la calle de la zona 1 de esta capital, se llevó a cabo con el objeto de tener una idea de la forma en que varían los contenidos de hierro con respecto a los contenidos de plomo en las diferentes localidades. Se propuso la hipótesis inicial de que si el contenido de hierro variaba proporcionalmente al contenido de plomo en las tierras, entonces ambos provenían de la misma fuente. El presente estudio demostró que los contenidos de hierro no varían de manera proporcional al plomo por lo que se deduce que no provienen de la misma fuente. Esto corrobora el hecho que el plomo se origina a partir de emisiones automotrices mientras que el hierro proviene en su gran mayoría de los minerales naturales de la tierra. Entre estos se encuentra el Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , y el $Fe_3Al_2(SiO_4)_2$. (31)

Los contenidos de hierro en tierras varía en un rango de 10605-17759 ppm con un promedio de 13045.8 ± 2070.4 (desv.std.)(Cuadro # 23, figura # 9).

CUADRO 26 .

Contenido de hierro mayor, menor y promedio en tierras.

Lugar de mayor contenido de Fe	Contenido de hierro ppm	Desviación Standard	
		ppm	%
11 av 14 calle	17759.2	2376.2	13.4
Lugar de contenido promedio.			
13 av 9 calle	14224.2	1331.4	9.4
1 calle 10 av	14224.2	1416.7	9.6
6 av 15 calle	13803	1823.4	13.2
6 av 2 calle	12793.3	2034	15.9
9 calle 10 av	12120	1146	9.5
V.Hermosa III	12035.8	361	3
6 calle 5 av	11446.7	1962	17
7 av 12 calle	11446.7	408.7	3.6
Lugar de menor contenido de Fe.			
18 calle 5 av	10605	1457	13.7

En Grand Rapids, Michigan, (54) se encontraron niveles de hierro en suelos que van de 2000 ppm a 6200 ppm, pero por falta de referencia del tipo de suelo analizado, estos datos no son comparables con los del presente estudio.

En México, se reportan contenidos de hierro en suelos del 17.5%, en Cuba del 7.8% y en Guyana del 1.3 %.(56) Esto nos indica que el contenido de hierro en los suelos varía de acuerdo a los contenidos minerales cuya composición química es variada. Para ejemplificar esto con mayor claridad se presenta el siguiente cuadro:

CUADRO 27 . (56)

Variaciones en la composición Química de algunos minerales.

Mineral arcilloso	% en peso de Fe_2O_3
Montmorilonita	0-30
Ilita	2-5
Vermiculita	3-12

En Guatemala los minerales arcillosos predominantes en los suelos son la Montmorilonita, Caolinita, y Vermiculita y como mineral secundario la Ilita.(56) Los porcentajes en peso de hierro hallados en el presente estudio son de 1.06-1.8 %. A partir de estos datos podemos suponer que el material recolectado fué principalmente de tipo arenoso, y no de tipo de tierra común donde se cree que los niveles de hierro serían aún mayores. La apariencia de las muestras indicaba también alto contenido de arena.

El mayor nivel de hierro en tierra de las calles, se encontró en la localidad de la 11 av 14 calle. Las restantes localidades denotan niveles de hierro muy similares entre sí, lo que implica que las tierras analizadas provenían de la misma fuente común, o que al menos sus constituyentes (minerales arcillosos con diferentes contenidos de hierro) eran básicamente los mismos.

Es de notar que los contenidos de hierro mayores en tierra de las calles, no se encuentra necesariamente en los lugares de alto flujo automotriz. La localidad de la 1 calle 10 av, demostró uno de los contenidos más altos de hierro, y sin embargo el nivel de plomo es de los más bajos de todas las localidades.

Un dato muy interesante para analizar, es el contenido de hierro en Vista Hermosa III. U. del Valle, localidad poco contaminada por plomo. Los niveles de hierro de este lugar no son diferentes (ver análisis estadístico Cuadro# 28) a los niveles hallados en la zona 1.

La contribución de hierro proveniente de las emisiones automotrices es del 4 % (40.3% compuestos de C, 6.8% Cl, 7.9% Br, 40% Pb). (57) Debido a la falta de homogeneidad de la muestra, el % de variabilidad en base a desviaciones standard de mediciones dentro de la misma muestra, indica que no es posible distinguir la contribución del pequeño porcentaje de hierro proveniente de fuentes automotrices. Esto es corroborado por la equivalencia de niveles de hierro de la zona 1 y de VH.III, mencionada anteriormente. Por tanto, podemos concluir que los niveles de hierro detectados en este estudio se deben a la composición natural de las tierras analizadas, en su mayor parte.

V.I.2.E.-Análisis estadístico de comparación de contenido de hierro en tierras de las calles. (CUADRO #28).

En el Cuadro #26 se dividieron las localidades de acuerdo a su contenido de hierro mayor, promedio y menor. El análisis estadístico nos confirma que la localización de la 11 av 14 calle, posee niveles mayores (con $p = .05$) que las localidades de la 9 calle 10 av, 7 av 12 calle, 6 calle 5 av, 18 calle 5 av, 6 av 15 calle, y VHIII. Los contenidos de hierro de las tres localidades restantes no difieren con la localidad de la 11 av 14 calle, a un nivel de significancia de 95 % de confiabilidad.

Entre los contenidos de hierro promedio podemos afirmar con un 95% de confiabilidad, que la localidad de la 7 av y 12 calle posee niveles menores que las localidades: 13 av 9 calle y 1 calle 10 av. En cuanto a los contenidos de hierro promedio, solo se compararon los contenidos más altos con los más bajos. De tal forma que si comparamos los contenidos promedios restantes acortando su diferencia en contenido de hierro, tendremos la seguridad de que los valores de t serían menores.

La muestra de la 18 calle 5 av posee niveles de hierro menores que el resto de las localidades, a un nivel de significancia de 95 % de confiabilidad.

El contenido de hierro encontrado en la tierra de VHIII, no es diferente, con un 95% de confiabilidad ($p=0.05$), al resto de las localidades de contenidos promedio de hierro en la zona 1. Esto nos demuestra que no se puede afirmar el hecho de que las tierras de la zona 1 podrían estar contaminadas por alguna cantidad de hierro de proveniencia automotriz.

CUADRO 28 .

Análisis estadístico del contenido de hierro en tierras.

(Test estadístico t , ver apéndice IX.5)

Comparación de: lugar de mayor Fe con menor Fe.	Contenido de Fe ppm	Desv.Std.	N*	t**	Diferencia significativa
11 av 14 calle, 9 calle 10 av	17759.2 12120	2376.2 1146	4	3.7	sí, p < .05
11 av 14 calle 7 av 12 calle	17759.2 11446.7	2376.2 408.7	4	4.53	sí, p < .05
11 av 14 calle 13 av 9 calle	17759.2 14224.2	2376.2 1331.4	4	2.25	nó
11 av 14 calle 6 calle 5 av	17759.2 11446.7	2376.2 1962	4	3.55	sí, p < .05
11 av 14 calle 18 calle 5 av	17759.2 10605	2376.2 1457	3	3.71	sí, p < .05
11 av 14 calle 6 av 15 calle	17759.2 13803	2376.2 1823.4	5	3.13	sí, p < .05
11 av 14 calle 6 av 2 calle	17759.2 12793.3	2376.2 2034	4	2.75	nó
11 av 14 calle 1 calle 10 av	17759.2 14224.2	2376.2 1416.7	4	2.21	nó
11 av 14 calle V.H. III.	17759.2 12035.8	2376.2 361	3	3.21	sí, p < .05
Comparación de: lugares de con- tenido de hierro promedio.					
13 av 9 calle 7 av 12 calle	14224.2 11446.7	1331.4 408.7	4	3.45	sí, p < .05
13 av 9 calle 6 calle 5 av	14224.2 11446.7	1331.4 1962	4	2.03	nó
1 calle 10 av 7 av 12 calle	14224.2 11446.7	1416.7 408.7	4	3.26	sí, p < .05
1 calle 10 av 6 calle 5 av	14224.2 11446.7	1416.7 1962	4	1.99	nó

Continuación del CUADRO 28 .

Comparación de: nivel menor de Fe, y nivel promedio.	Contenido de Fe ppm	Desv.Std.	N*	t**	Diferencia significativa
18 calle 5 av 7 av 12 calle	10605 11446.7	1457 408.7	3	1.02	nó
18 calle 5 av 6 calle 5 av	10605 11446.7	1457 1962	3	0.55	nó
18 calle 5 av V.H. III.	10605 12035.8	1457 361	2	1.35	nó
18 calle 5 av 9 calle 10 av	10605 12120	1457 1146	3	1.14	nó
18 calle 5 av 6 av 2 calle	10605 12793.3	1457 2034	3	1.66	nó
18 calle 5 av 1 calle 10 av	10605 14224.2	1457 1416.7	3	2.77	nó
18 calle 5 av 13 av 9 calle	10605 14224.2	1457 1331.4	3	2.88	nó
18 calle 5 av 6 av 15 calle	10605 13803	1457 1823.4	4	2.12	nó
Comparación entre niveles de VHIII y ni- veles promedio					
VH.III 18 calle 5 av	12035.8 10605	361 1457	2	1.35	nó
VH.III 13 av 9 calle	12035.7 14224.2	361 1331.4	3	2.17	nó
VH.III 1 calle 10 av	12035.8 14224.2	361 1416.7	3	2.04	nó

* Número de grados de libertad

**Valor de t para encontrar diferencia significativa !

con p = 0.05

N=2	t= 4.3
N=3	t= 3.18
N=4	t= 2.78
N=5	t= 2.57

VI.3. Niveles de plomo y hierro en aire de la zona 1.

- Localidades muestreadas : 6 av 2 calle
13 av 9 calle
7 av 12 calle
11 av 14 calle
1 calle 10 av
2 av 14 calle
U.del Valle. VHIII.
- Fecha del muestreo : Meses de febrero y marzo de 1980.
- Además de los contenidos de Pb y Fe, se expresan parámetros climatológicos y meteorológicos tales como Humedad Relativa, Velocidad de vientos, Presión atmosférica, temperatura.
- Se incluyen también datos de partículas en suspensión.
- Las localidades mencionadas anteriormente se muestrearon dos veces cada una a mediodía. Tres de ellas se muestrearon en fin de semana, día domingo: 2 av 14 calle, 11 av 14 calle, 13 av 9 calle. Se realizaron también muestreos durante todo un día en la localidad de la 11 av 14 calle.
- Las localidades mencionadas anteriormente presentaron niveles altos de plomo en tierra (Cuadro # 24). La localidad de la 2 av 14 calle no se muestreó en cuanto a tierra, pero por su disponibilidad como lugar de muestreo, se le determinaron sus niveles de contaminación.

VI.3.A. Cuadros de contenidos de plomo, hierro y partículas en suspensión en el aire.

CUADRO 29.

Contenido de Pb y Fe en diferentes localidades,
muestreo llevado a cabo de las 11 - 1 pm.

Localidad Días entre semana a me- nos que se indique.	Peso de par- tículas en suspensión. (mg/m ³)	Vel.del viento** (m/seg)	T ^o C	H.R. %	P.A.	Plomo ^{***} (µg/m ³)	Hierro ^{****} (µg/m ³)
ZONA 1.							
6 av 2 calle	-----*	-----*	23	58	643.2	2.28 ±.29	1.73±.14
6 av 2 calle	.380 ± .025	2.73	30	36	642.7	1.82± .21	6.5 ±.49
6 av 2 calle	.115 ± .023	2.41	31	38	641.7	1.27 ±.17	4.34±.30
13 av 9 calle	.205 ± .041	-----*	23	56	642.8	2.31 ±.36	6.5 ±.40
13 av 9 calle	-----*	-----*	25	52	643.3	4.66 ±.56	6.8 ±.54
13 av 9 calle (domingo)	.258 ± .013	3.5	24	55	642.3	0.82 ±.11	2.92±.20
1 calle 10 av	-----*	2.4	29	40	642.9	1.57 ±.26	2.34±.21
1 calle 10 av	.044 ± .024	2.04	31	42	642.1	1.61 ±.20	2.48±.19
11 av 14 calle	.275 ± .024	3.26	25	48	642.6	1.44 ±.17	4.7 ±.32
11 av 14 calle	.194 ± .018	3.96	26	52	642.1	1.34 ±.15	4.18±.28
11 av 14 calle	.209 ± .027	2.21	26	47	642.9	1.38 ±.17	2.67±.19
11 av 14 calle (domingo)	.181 ± .009	2.86	25	62	643.2	0.55 ±.08	2.29±.15
Interior casa 11 av 14 calle.	.039 ± .004	0	22	60	642.6	.14 ±.02	.47 ±.03
7 av 12 calle	.187 ± .018	3.42	32	44	643.3	1.05 ±.13	2.57±.17
7 av 12 calle	.110 ± .019	2.05	35	50	641.8	1.06± .17	1.95±.14
2 av 14 calle	.088 ± .018	2.03	27	42	641.7	2.11 ±.24	2.21±.14
2 av 14 calle	.138 ± .009	3.87	28	50	641.9	1.87 ±.21	0.89±.09
2 av 14 calle (domingo)	.046 ± .015	1.80	23	50	642.2	0.74 ±.09	1.95±.12
U.D.V.						.22 ±.03	0.86±.06
Porton UDV	.028 ± .005	4.42	21	60	640.8	.18 ±.03	0.76±.05
Porton UDV	.023 ± .006	3.74	25	61	643.5		
Salón 202	.017 ± .006	0	21	52	641.7	.06±. 02	.34± .03
Salón 202 (contaminado)	-----*	0	20	62	643.2	1.27 ±.19	.34 ±.03
OTROS							
Campo final Petapa	.221 ± .007	1.8		56	641.5	.024± .02	2.47 ±.1

Especificaciones del CUADRO 29.

* Datos extraviados.

**Medición de la velocidad del viento con anemómetro sencillo de Clemens (70). Incertidumbre aproximada 1 m/seg.

***Plomo recolectado en filtro Nucleoporo de $5\ \mu\text{m}$, eficiencia de recolección = 85 % . Datos ya corregidos. (Ver apéndice IX.3) Incertidumbre= en base al procedimiento de análisis realizado en cada filtro, en base a las lecturas del aparato, y en base a la incertidumbre de la eficiencia de recolección del filtro (5%).

****Hierro recolectado en filtro Nucleoporo de $5\ \mu\text{m}$, eficiencia de recolección del 100 % . Datos corregidos por contenidos de hierro en los filtros = $1.25 \pm .25\ \mu\text{g Fe/ filtro}$. Incertidumbre= en base al análisis realizado en cada filtro, en base a las lecturas del aparato, en base a la incertidumbre de la medición de flujo (3%) (ver apéndice IX3), y en base al contenido de hierro en filtros.

FIGURA #10

CORRELACION ENTRE VELOCIDAD DEL VIENTO
Y NIVELES DE PLOMO Y HIERRO EN
EL AIRE ZONA 1

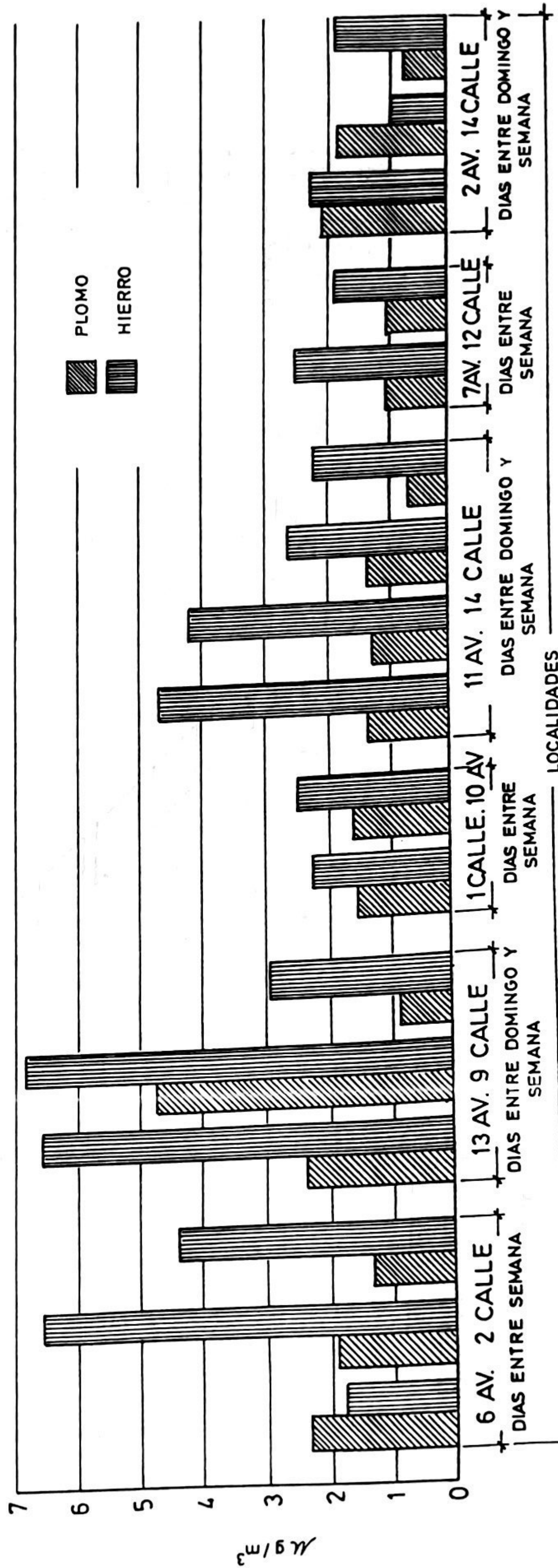
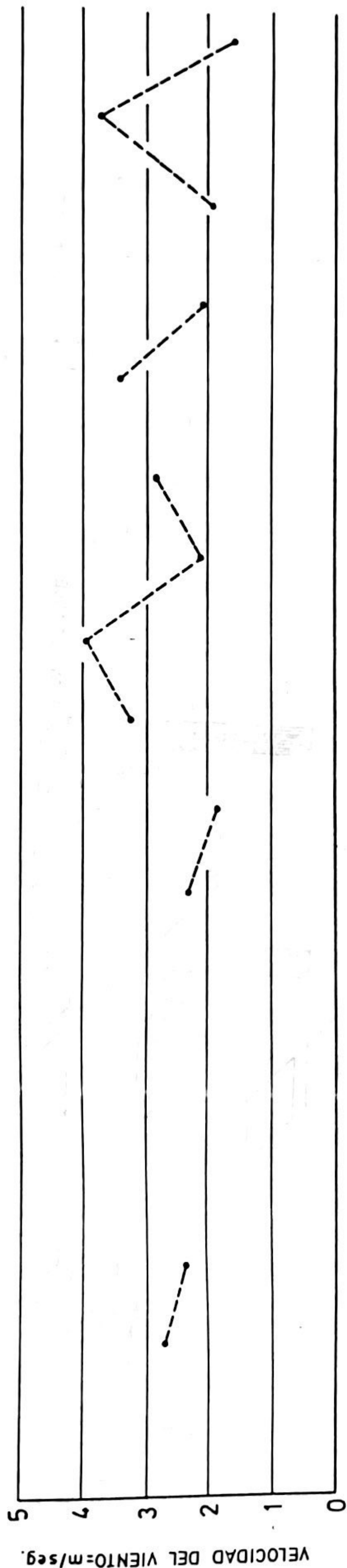
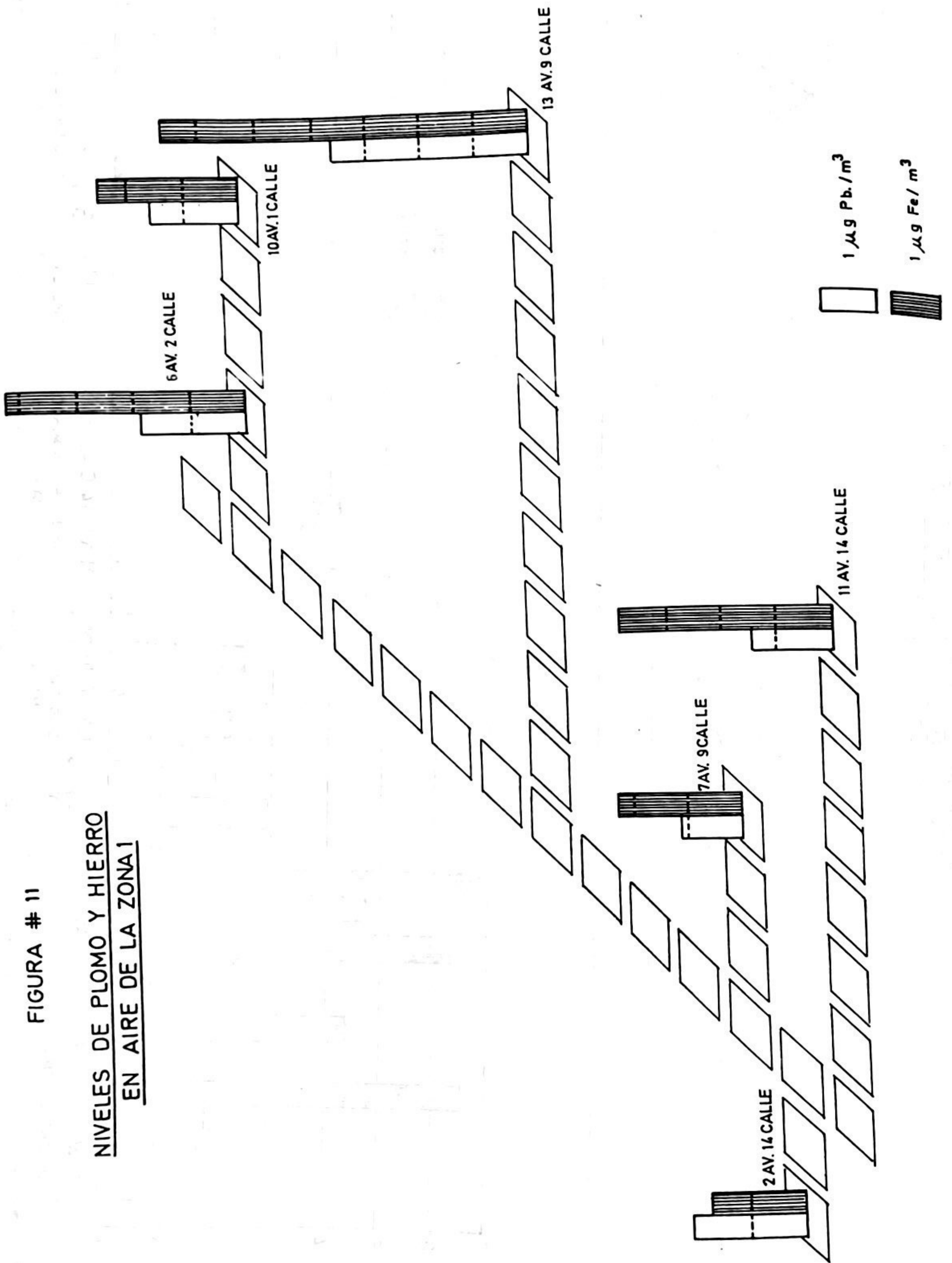


FIGURA # 11

NIVELES DE PLOMO Y HIERRO
EN AIRE DE LA ZONA I



CUADRO 30.

Primer muestreo durante todo el día en la 11 av y 14 calle.
Contenido de plomo y hierro en aire.

Hora	Peso de partículas en suspensión(mg/m ³)	Velocidad del viento(m/seg)	T ^o C	H.R. %	Plomo/μg/m ³	Hierro/μg/m ³
6-8am	.191 ±.019	2.36*	19	76	1.64±.23**	2.87±.19***
8-10am	.115 ±.014	2.69	21	72	1.41±.16	2.31±.16
10-11am	.247 ±.026	2.38	24	52	0.82±.13	2.78±.22
11-12am	.209 ±.027	2.21	26	47	1.38±.17	2.67±.19
12-1pm	.132 ±.028	2.56	27	42	1.12±.17	2.76±.22
1-3pm	.156 ±.014	2.03	28	38	1.17±.16	2.16±.15
3-5pm	.121 ±.014	4.1	31	40	0.72±.10	2.60±.18
5-6pm	.215 ±.024	3.14	26	50	0.91±.11	2.45±.19
6-7pm	.223 ±.026	3.12	23.5	60	0.84±.13	2.97±.23
7-9pm	.182 ±.016	3.11	22	70	0.74±.10	2.44±.18
9-12pm	.224 ±.016	2.84	21	80	1.45±.17	3.50±.23
12-4am	.121 ±.006	1.55	20	82	3.33±.32	3.21±.19

* Medición de velocidad del viento con anemómetro sencillo de Clemens(70).

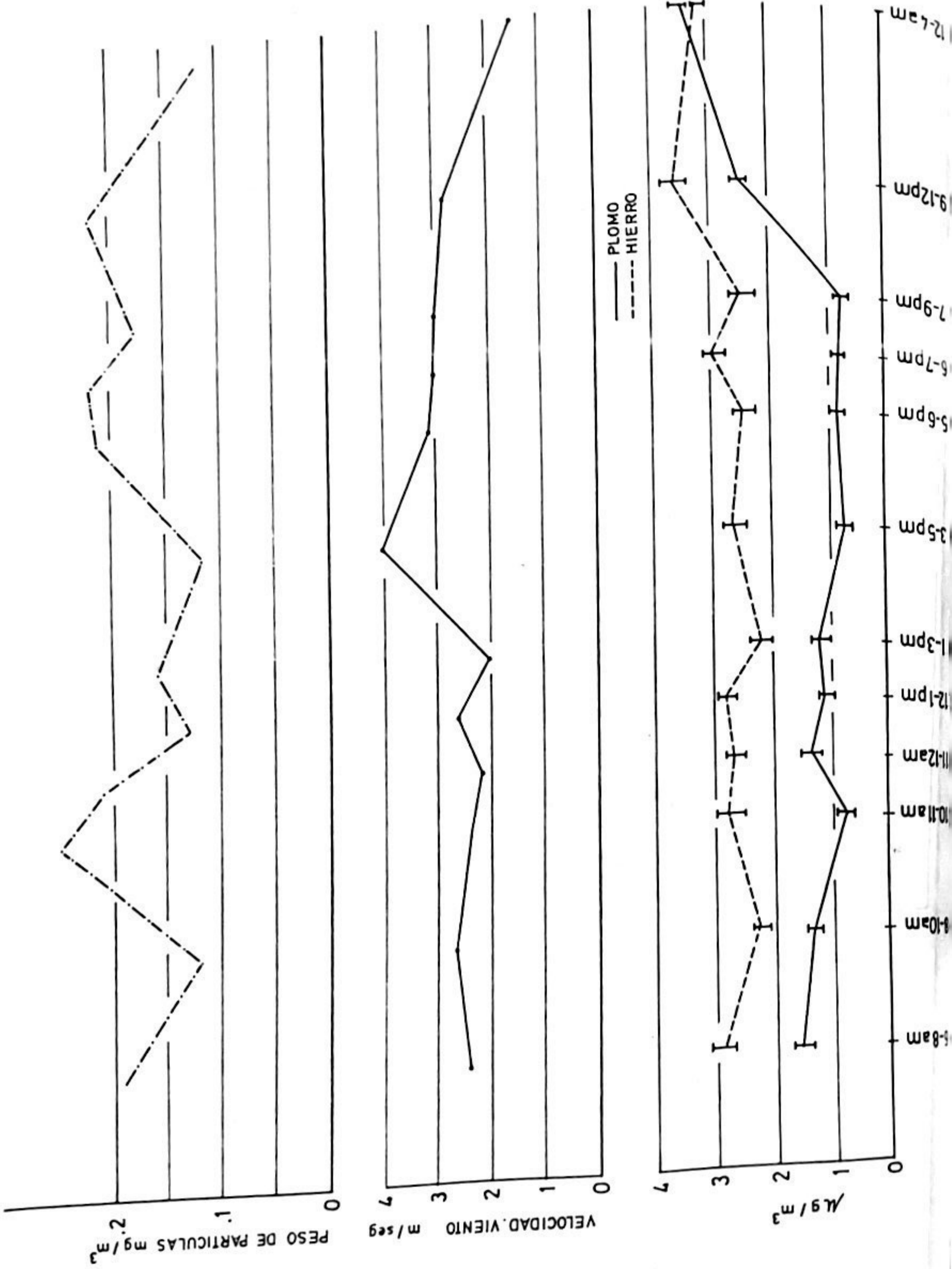
Incertidumbre=

**Plomo recolectado en filtro Nucleoporo de 5 μm, eficiencia de recolección de 85%. Datos ya corregidos,(divididos por .85). (Ver apéndice IX.3.)

***Hierro recolectado en filtro Nucleoporo de 5 μm, eficiencia de recolección= 100%. Datos corregidos por contenido de hierro en filtros igual a 1.25±.25 μg/filtro.

Presión Atmosférica= 642.8 mmHg.

PRIMER MUESTREO DE UN DIA COMPLETO 11 AV. 14 CALLE.
 CORRELACION ENTRE NIVELES DE PLOMO Y HIERRO EN
 AIRE, VELOCIDAD DEL VIENTO Y PESO DE PARTICULAS.-



CUADRO 31 .

Segundo muestreo realizado durante todo el día en la 11 av y 14 calle.
 Contenido de plomo y hierro en aire.

Hora	Peso de partículas en suspensión (mg/m ³)	Velocidad del viento (m/seg)	T°C	H.R. %	Plomo/μg/m ³	Hierro/μg/m ³
12-2am	0.064 ±.015	2.53 *	19.5	69	.44±.07**	0.50±.04***
2-4am	0.058 ±.015	2.19	19	70	.24±.06	1.16±.09
4-6am	0.117 ±.014	2.19	19	72	.26±.07	0.83±.07
6-7am	0.193 ±.025	1.93	19,5	84	1.24±.2	2.43±.16
7-8am	0.271 ±.026	2.43	20	80	1.97±.24	4.15±.27
8-9am	0.245 ±.027	2.64	21	77	2.93±.31	2.67±.17
9-10am	0.245 ±.027	2.98	22.3	65	1.55±.19	3.45±.26
10-11am	0.182 ±.027	3.77	24.3	43	0.95±.13	4.1 ±.29
11-12am	0.246 ±.027	3.91	25	41	0.86±.14	2.65±.18
12-1pm	0.292 ±.031	3.14	26	40	1.12±.15	2.61±.19
1-2pm	0.152 ±.023	2.67	27.5	38	1.02±.13	2.11±.17
2-3pm	0.281 ±.032	3.86	27	34	1.01±.16	2.58±.19
3-4pm	0.263 ±.029	3.47	30	32	1.21±.22	3.14±.20
4-5pm	0.345 ±.027	2.46	28.5	36	0.98±.13	3.67±.25
5-6pm	0.324 ±.027	3.04	25	41	1.52±.23	3.74±.24
6-7pm	0.310 ±.029	2.99	24	49	1.22±1.6	3.20±.25
7-9pm	0.148 ±.014	2.92	22.5	63	0.68±.11	2.05±.14
9-11pm	0.163 ±.015	2.61	20.5	60	0.59±.09	1.33±.12
11-12pm	0.246 ±.031	2.53	19.5	65	1.06±.20	1.10±.10

* Medición de velocidad del viento con anemómetro sencillo de Clemens(70)
 incertidumbre=

**Plomo recolectado en filtro Nucleoporo de 5 μm, eficiencia de recolección= 85%. Datos ya corregidos, (divididos por .85). (ver Apendice IX.3)

***Hierro recolectado en filtro Nucleoporo de 5 μm, eficiencia de recolección=100%. Datos corregidos por contenido de hierro en filtros igual a 1.25±.25 μg/ filtro.

Presión Atmosférica= 642.6 mmHg.

FIGURA #13

SEGUNDO MUESTREO DE UN DIA COMPLETO 11 AV. 14 CALLE
CORRELACION ENTRE NIVELES DE PLOMO Y HIERRO
VELOCIDAD DEL VIENTO Y NUMERO DE VEHICULOS

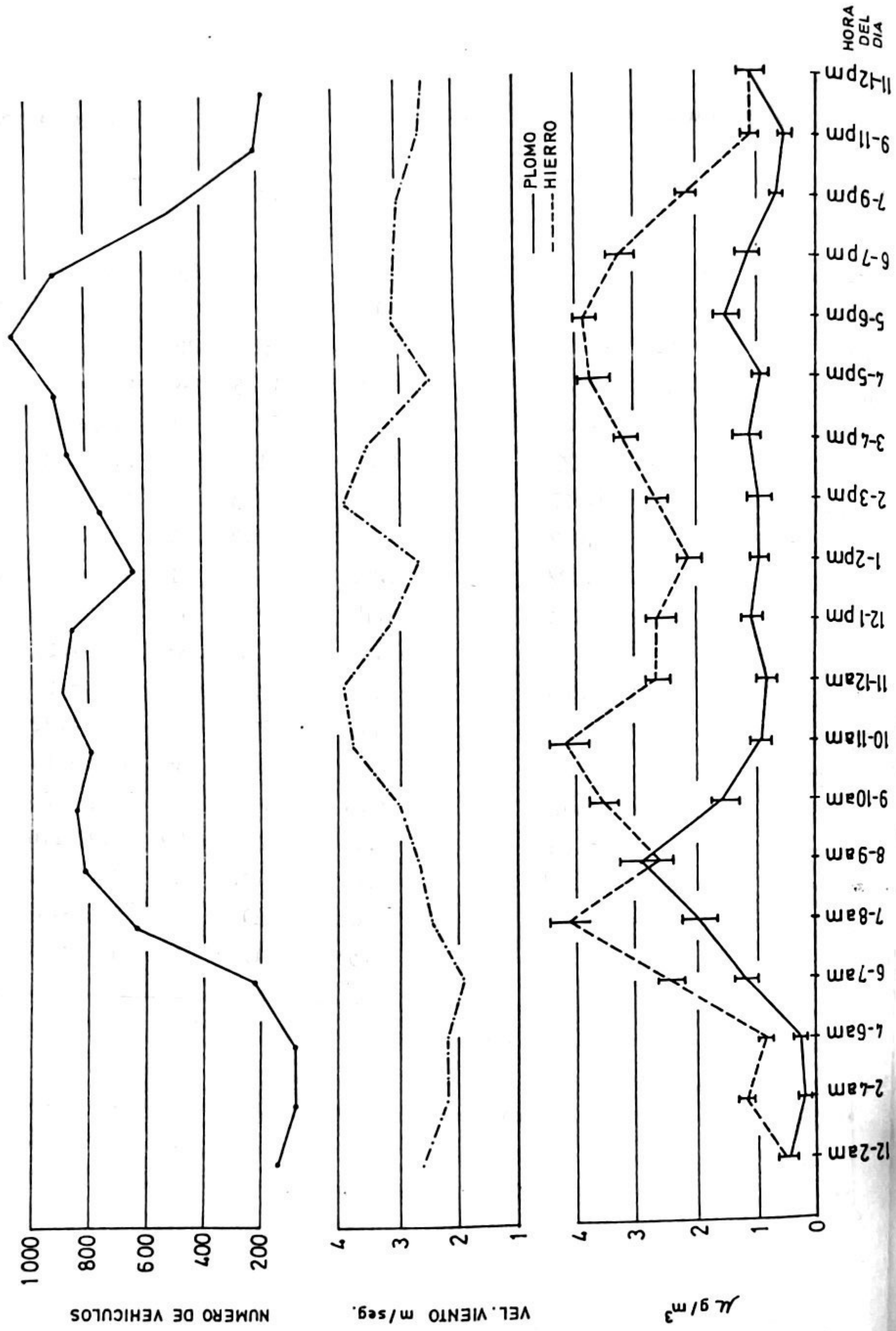


FIGURA #14

SEGUNDO MUESTREO DE UN DIA COMPLETO, 11 AV. 14 CALLE
 CORRELACION ENTRE NIVELES DE PLOMO Y HIERRO, PESO
 DE PARTICULAS EN SUSPENSION, Y-H.R.

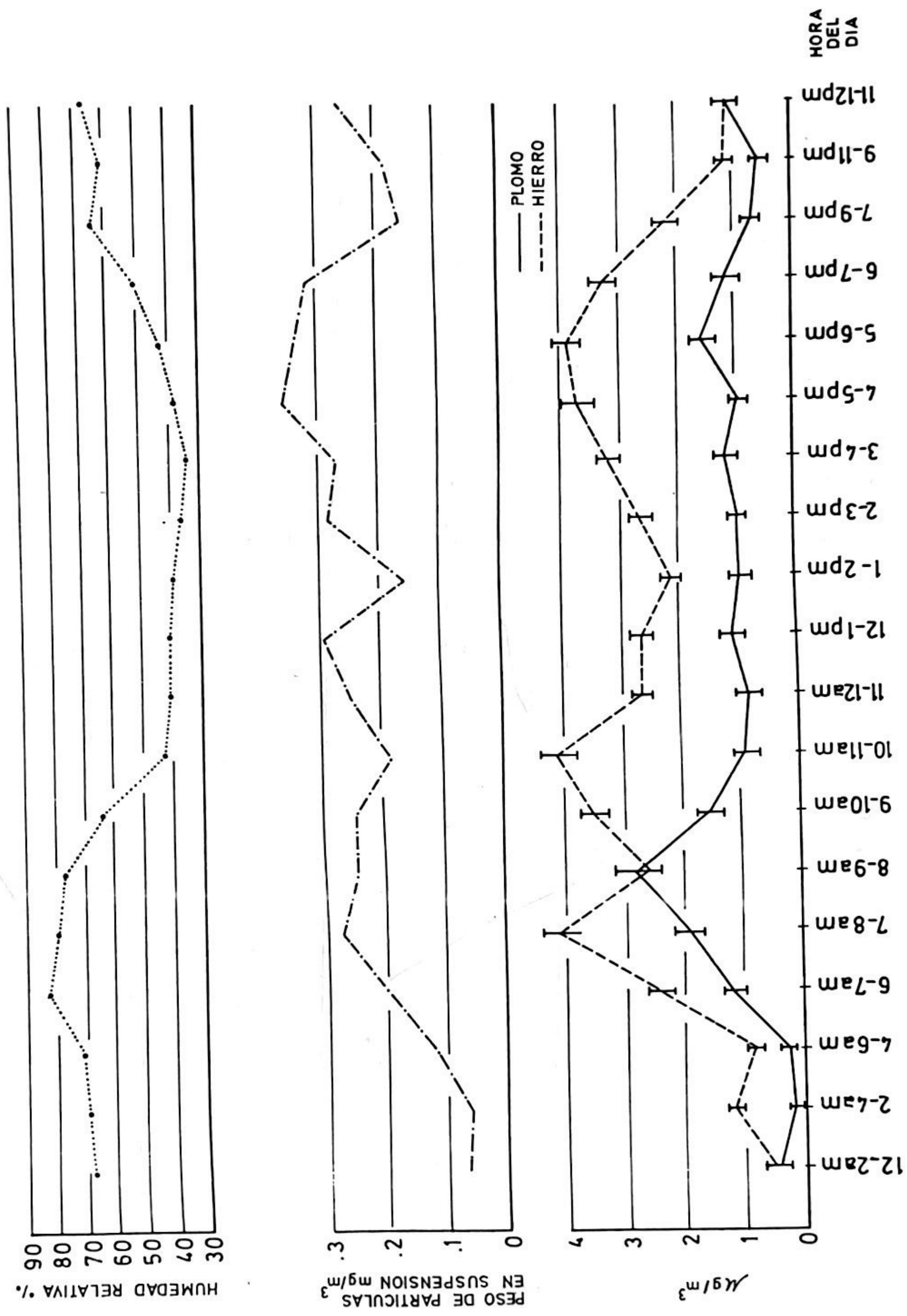
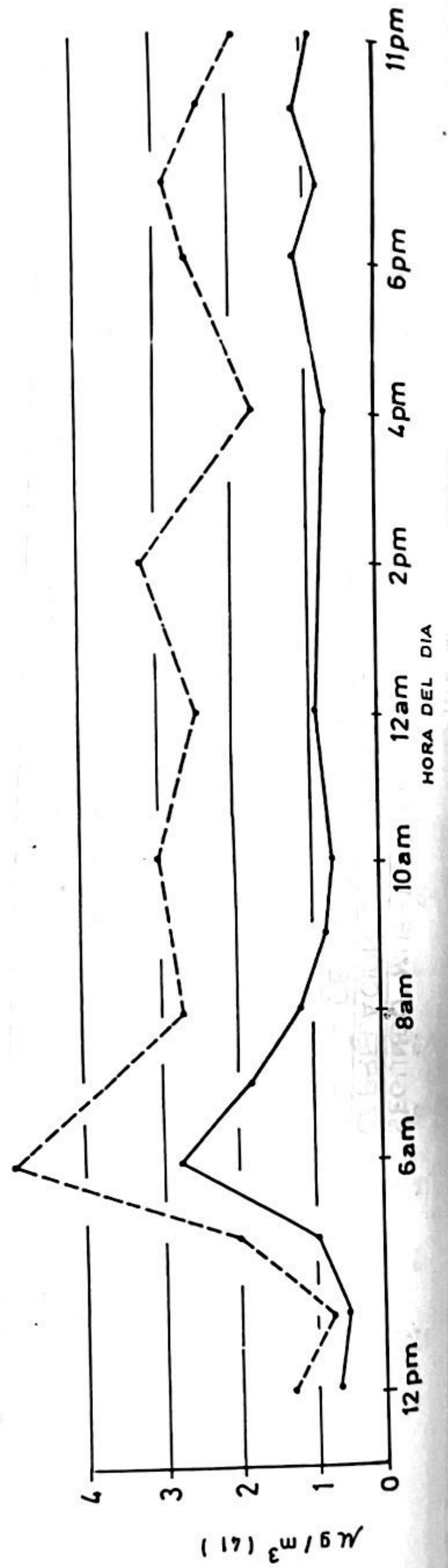
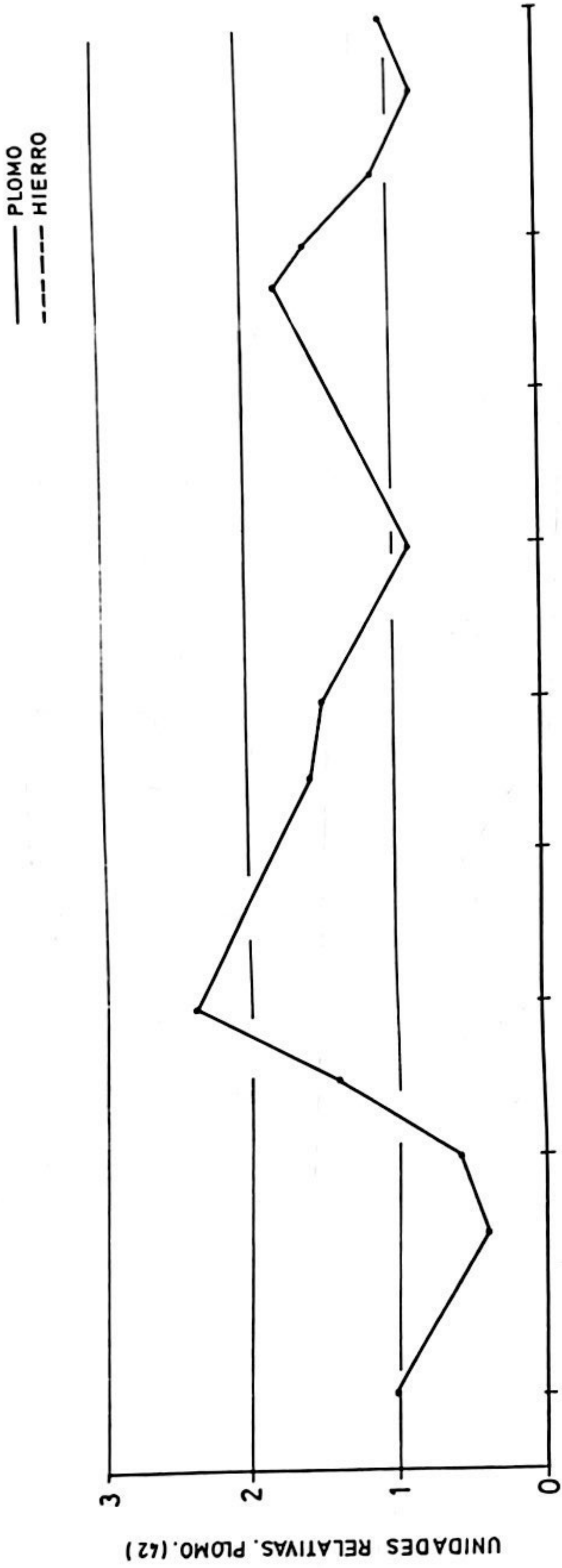


FIGURA #15
NIVELES DE PLOMO (41) (42) Y
HIERRO (41) ENCONTRADOS EN
OTROS ESTUDIOS



VI.3.3 Discusión sobre niveles de plomo en aire.

Los contenidos de plomo en el aire de la zona 1 de la capital, varían de $1.05-4.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en días entre semana, y de $0.55-0.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en fines de semana (domingo). Promediando estos datos (Cuadro # 29) para tener una idea promedio general, tenemos el nivel de:

$1.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo ± 0.91 (días entre semana)

y $0.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo ± 0.14 (fin de semana, domingo)

Con respecto a la variación de los contenidos de plomo entre semana en las diferentes localidades, promediando los valores de la misma localidad, tenemos los siguientes resultados: (ver figura 11)

CUADRO 32 .

Niveles de contenido de plomo promedio de los muestreos (11-1pm) llevados a cabo en las diferentes localidades.

Localidad	Contenido de plomo promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Standard $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Standard %
6 av 2 calle	1.79	0.51	28.5
13 av 9 calle	3.49	1.66	48
1 calle 10 av	1.59	0.03	2
11 av 14 calle	1.39	0.05	3.6
7 av 12 calle	1.06	0.01	1
2 av 14 calle	1.99	0.17	8.5
U.del Valle V.H.III	0.20	0.03	15

El promediar las diferentes muestras tomadas en una misma localidad no es muy razonable, pero se hizo con el objeto de tener menos datos a la vista para tomar una idea general de los niveles de plomo en

la zona 1. No es muy razonable el hacer el promedio de estos datos ya que cada medición se llevó a cabo bajo condiciones y parámetros muy diferentes tales como viento, Humedad Relativa, temperatura, etc. Por lo tanto, los niveles de plomo en aire fueron afectados por diferentes condiciones atmosféricas y climatológicas en una misma localidad. Por estas razones, no nos debe extrañar el hecho de las variaciones tan altas (48%) que se encontraron dentro de una misma localidad.

En el cuadro #33 , se presentan datos promedios de contenidos de plomo en aire de diferentes ciudades en EEUU.

La comparación directa de los datos de contenidos de plomo de este cuadro, con los niveles encontrados en la zona 1; es difícil. Esto se debe a varias razones:

-Los niveles de plomo son afectados por las condiciones meteorológicas y climatológicas de los muestreos llevados a cabo en los diferentes lugares geográficos. Se ven afectados además por el flujo de tráfico diario , condición de los vehículos, etc.

-Otro factor que debe ser uniforme al comparar datos de plomo en aire, de diferentes estudios, es la altura a la que se llevaron a cabo los muestreos. En el presente estudio, el muestreo se llevó a cabo a una altura de 1.6m con el objeto de tener una idea de los niveles de plomo existentes en el estrato de aire que la mayoría de gente respira (altura aproximada de la nariz). Este dato es sumamente importante ya que la concentración del contaminante varía inversamente con la distancia a partir de la fuente de emisión. Sin embargo, en sitios semicerrados como las calles de la zona 1, la mezcla de los contaminantes

CUADRO 33.

Datos de la literatura sobre contenidos de plomo
en aire de diferentes ciudades.

	Contenido de plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Referencia.
-Estaciones Urbanas. EEUU. (1964-1965)	0.79 - 1	(58)(22)
-Chadron, Nebraska (1973)	0.05	(58)
(1974)	0.03	
-Indiana (1969)	0.4-3.7	(58)
-Polo Sur(1970)	0.0006	(58)
-Universidad de Tucson Arizona (1972)	0.47	(45)
-St.Louis (1973)	0.57	(43)
-New York (1969-1970)	1.37	(59)
-Manhattan (1970)	2.99	(59)
-Berkeley, California(1970)	2.90	(60)
-Toronto, Canadá (1974)	0.97	(19)
Promedio estaciones urbanas		
-Sur de Arizona (1973) Urbana	0.69	(61)
Rural	0.067	
-Estado de Texas (1971)	0.36 - 2.56	(62)
(Promedio)		
-Houston, Texas (1971)	1.03	(62)
-Chicago (1970)	3.2	(63)
-Cincinnati(1970)	2.1	(63)
-Denver (1970)	1.8	(63)
-Filadelfia (1970)	1.6	(63)
-St,Louis (1970)	1.8	(63)
-Washington D.C. (1970)	1.3	(63)
-Los Angeles, Ciudad (1969)	5.2	(22)
-Urbana Illinois (1975)	3.8	(49)
-Lancaster England. (1979)	1-6	(29)

debida a la turbulencia probablemente crea una distribución que varía lentamente con respecto a la altura sobre el suelo. (Por lo menos en los primeros 5 m). Esto significa que en estas condiciones, la altura de muestreo no es crítica.

-En la mayoría de los datos del cuadro # 33, los contenidos de plomo en aire son promedios de muestreos llevados a cabo durante largos períodos de tiempo (24 horas) durante ciertos meses del año. Nuestros datos, en su mayoría, son el resultado de mediciones cortas (1 hora) durante las horas de mayor flujo de tráfico automotriz. Por lo tanto, debemos promediar nuestros datos de las diferentes localidades, y los datos de los dos muestreos llevados a cabo durante todo un día; para poder comparar nuestros niveles con los datos del cuadro #33 .

-En los cuadros # 30y # 31 , muestreos llevados a cabo en una misma localidad durante todo un día, se puede observar el hecho que los niveles más altos de plomo en el aire de todo el día no se encuentran entre las 11-1pm (horas en que se llevó a cabo el resto de los muestreos). Este fenómeno se repitió en la misma localidad, 11 av 14 calle, lo que nos hace suponer que las otras localidades se podrían comportar de la misma forma a través del día. De tal modo, los niveles de plomo en aire que se presentan en este estudio (muestreo de 11-1pm), no son necesariamente los niveles más altos de plomo en aire de la zona 1.

A pesar de todos los inconvenientes originados por la falta de información específica y de homogeneidad necesaria para la comparación de datos, podemos afirmar a grandes rasgos que nuestros niveles de Pb

en aire, se encuentran en el grupo promedio de los datos proporcionados por la literatura (Cuadro # 33):

- dato promedio de contenido de plomo en aire de la zona 1, muestreos de 11am-1pm (Cuadro # 29) $1.84 \pm 0.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- dato promedio de contenido de plomo en aire de la zona 1, primer muestreo de todo un día en la 11 av y 14 calle. (Cuadro # 30) $1.3 \pm 0.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- dato promedio de contenido de plomo en aire de la zona 1, segundo muestreo de un día (Cuadro # 31) $1.1 \pm 0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- dato promedio de niveles urbanos de plomo en aire de diferentes ciudades de EEUU. $2.1 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Esto es verdaderamente alarmante ya que nuestra ciudad es pequeña comparada con la mayoría de estas ciudades estadounidenses. La contaminación tan alta por plomo, que existe en nuestra ciudad a pesar de que poseemos flujos de tráfico menores de EEUU, se debe en gran parte a los altos contenidos de plomo en la gasolina que se consume en Guatemala hoy en día. (Cuadro # 13) De lo anterior se puede concluir que los niveles nuestros son similares a los del cuadro # 33, por varias razones tales como:

- EEUU a pesar de poseer altos flujos de tráfico, posee niveles bajos de plomo en gasolina (Cuadro # 6).
- Guatemala a pesar de tener poco flujo de tráfico, posee niveles altos de plomo en gasolina.

Existen otros factores que afectan los contenidos de plomo en aire! Hirschler et.al.(64) demostraron que el tamaño y cantidad de partículas de plomo variaba en las emisiones automotrices dependiendo de:

-Velocidad de manejo del vehículo: a velocidad normal se expelle de un 14-54 % del total de plomo; a velocidad de aceleración al máximo se expelle hasta un 200% del plomo total (parte del plomo acumulado en el sistema también se emite).

-Kilometraje acumulado: con 43,200 Km, el vehículo expelle 78,8% de Pb
con 30,880 Km, el vehículo expelle 72.5% de Pb.

-Frecuencia de servicio de mantenimiento del vehículo.

Los factores mencionados anteriormente son muy interesantes ya que debido a las costumbres de nuestro país, generalmente los vehículos acumulan largos kilometrajes sin recibir los servicios de mantenimiento necesarios. Por lo tanto, la contaminación de plomo en aire de nuestra ciudad proviene principalmente de los contenidos de plomo altos en la gasolina, y también de factores secundarios referentes a la condición misma de los vehículos; como se menciona anteriormente.

Los límites de seguridad de plomo en aire, para exposiciones a largo plazo, son los siguientes: CUADRO 34.

Países que poseen normas de concentración de plomo en aire. (12)	Concentración límite de Pb en aire. $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Italia	10
Israel	5
Hungría	0.7
Polonia	1
Rumania	1
Yugoeslavia	1
Alemania del Este, Checoslovaquia, Rusia Bulgaria	0.7

Ocho de los diez países mencionados anteriormente, recomiendan niveles de plomo en aire menores que los encontrados en el presente estudio: $1.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos niveles de plomo hallados en la zona 1, son peligrosos para la gente que desarrolla actividades profesionales o comerciales en este ambiente con un promedio de 8 horas diarias, durante 5 días a la semana, y es aún más alarmante para las personas que residen en este lugar, quizás toda su vida.

Si del 20 al 50% de plomo inhalado a partir de aire contaminado, puede ser absorbido por el cuerpo, y si respiramos un promedio de $3.6 \text{ m}^3/\text{hora}$ (65), entonces las personas que trabajan en las calles o en negocios expuestos en la zona 1, durante 8 horas, estarán respirando aproximadamente $53 \mu\text{g}$ de plomo y absorbiendo de $10-26 \mu\text{g}$ de Pb. al día. Las personas que residen en interiores, durante 24 horas al día, respiran aproximadamente $12 \mu\text{g}$ de plomo al día (cálculos en base a nivel de plomo en interior de casa de la 11 av 14 calle, cuadro # 29), absorbiendo de $3-6 \mu\text{g}$ Pb al día.

Datos fisiológicos (24), nos revelan que la eliminación diaria de plomo por el cuerpo es de aproximadamente 0.3 mg. Sin embargo, este nivel de eliminación no implica que el vivir en aire contaminado con $1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Pb no produce ciertos niveles de plomo en sangre, como se observa en el cuadro # 4, Policía expuesto a $2.1 \mu\text{g}$ de Pb/m^3 posee niveles de plomo en sangre de 25 microgramos/100 gramos. En base a estos datos del cuadro # 4, podríamos suponer que un nivel típico de plomo en sangre para personas que trabajan en la zona 1, sería de $25 \mu\text{g}/100\text{g}$. Concluyendo, absorciones pequeñas de plomo aparentemente no significativas a corto plazo, pueden acumularse y causar daños más o menos severos. de acuerdo a los niveles acumulados.

Con respecto al muestreo realizado en las diferentes localidades en días entre semana, podemos observar que el parámetro de la velocidad del viento, está muy relacionado con la cantidad de contaminante existente en la atmósfera. Por ejemplo, en la mayoría de los muestreos, la cantidad de plomo en aire disminuyó al aumentar el viento:

Lugar:	Velocidad del Viento m/seg	Concentración de plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 calle 10 av	2.4	1.57
		1.61
11 av 14 calle	2.04	
	3.96	1.34
7 av 12 calle	3.26	1.44
	3.42	1.03
2 av 14 calle	2.05	1.06
	3.87	1.87
	2.03	2.11

Esto no se puede generalizar a todas las localidades sin considerar el flujo de tráfico, pues este también afecta los niveles de plomo en aire. Por ejemplo, en la 2 calle y 6 av. sucedió lo contrario. Sin embargo, como sucedió lo mismo en la mayoría de las localidades, se puede pensar que en condiciones de vientos fuertes, las partículas además de ser transportadas fuera del lugar de muestreo, son impactadas contra cualquier obstáculo que encuentren, tales como muros de las casas, contra el suelo, disminuyendo así su concentración en el aire. Otra posibilidad consiste en que en ausencia de viento, los niveles de plomo se van acumulando en el aire, y entonces se obtienen niveles de plomo ya existentes o acumulados durante las precedentes horas del día, más el plomo emitido a la atmósfera en el momento de muestreo.

El nivel de plomo en aire, no varió proporcionalmente en todas las localidades, de acuerdo a la cantidad de materia en suspensión. Por ejemplo, en la 6 av 2 calle, si se cumplió el hecho de que la muestra que tenía más plomo fué la que más pesó. En la 13 av 9 calle y 1 calle 10 av, no se tienen los datos de peso de partículas, en todos los muestreos, por lo que no se puede corroborar nada respecto a estas localidades. En el muestreo del portón de la Universidad del Valle, la muestra que pesó más fue también la que resulto con mayores niveles de plomo. En la localidad de la 11 av 14 calle, en los tres muestreos llevados a cabo, se nota la relacion proporcional entre el peso de materia recolectada y el contenido de plomo. En la 2 av 14 calle, el contenido de plomo varió inversamente con respecto al peso de particulas en suspension. De la localidad de la 7 av 12 calle, no se puede inferir nada debido a que los contenidos de plomo son estadísticamente iguales. A continuación se presenta una tabla representando las variaciones mencionadas anteriormente:

Lugar:	Peso de partículas en suspensión mg/m ³	Contenido de plomo µg/m ³
6av 2 c.	0.380	1.82
	0.115	1.27
Portón U.	0.0275	0.22
	0.0227	0.18
11av 14 c.	0.275	1.44
	0.209	1.38
	0.194	1.34
2av 14 c.	0.088	2.11
	0.138	1.87

El hecho de que no se pueda establecer una relación entre los niveles de plomo y el peso de la materia en suspensión, se puede deber a que en los lugares donde se llevaron a cabo los diferentes muestreos, además de tráfico de carros, existió un tráfico considerable de camionetas. Las camionetas no expelen plomo a la atmósfera en sus emisiones pero si expelen una cantidad considerable de partículas de carbón. Estas partículas contribuyen a que el peso de la materia en suspensión sea más alto sin contener necesariamente altos niveles de Pb.

En cuanto a la relación de los niveles de plomo con respecto al peso de materia en suspensión, en los muestreos de todo un día, tenemos: 1 muestreo: el peso de partículas en suspensión, varía en el intervalo de 0.115-0.247 mg/m^3 alcanzando su máximo en el período de 10-11am (período de bajo contenido de plomo) y alcanzando su mínimo en el período de 8-10am (período de contenido de plomo bastante alto) (Ver cuadro # 30) (Figura 12)

2 muestreo: el peso de partículas en suspensión, varía en el intervalo de 0.058-0.345 mg/m^3 alcanzando su máximo en el período de 4-5 pm (período de contenido de plomo intermedio) y alcanzando su mínimo de 2-4 am (menor nivel de plomo de todo el día). En esta hora del día sí se correlacionó el nivel mas bajo de plomo con el menor peso de materia particulada, debido quizás al poco flujo de camionetas a esta hora y por lo tanto al poco contenido de compuestos de carbón en el filtro, proveniente de las emisiones de estos buses. (Figura # 13)

El muestreo en los diferentes lugares de la zona 1 se llevó a cabo, salvo en una localidad (1 calle 10 avenida), sobre las avenidas. Esto se hizo así por dos motivos: 1) En base a observaciones las avenidas poseen mayor flujo de tráfico.

- 2) Las personas que proporcionaron su colaboración con este estudio, habitan principalmente en estas avenidas.

El dato de la 1 calle 10 av, tiene un contenido de plomo en aire promedio comparado con el resto de las localidades. Esto es un poco extraño debido a que esta localización al estar en el límite de la zona 1, no posee tanto tráfico como las avenidas muestreadas en el centro de la zona 1. Este fenómeno se puede explicar en base a la dirección predominante de los vientos en los meses de febrero y marzo, meses durante los cuales se llevó a cabo el muestreo de plomo en aire. Información proporcionada por el INSIVUMEH, confirma que la dirección predominante de los vientos, en estos meses, fue Sur o Norte. Los vientos, al tener su velocidad paralela al trazo de las avenidas, efectúan transporte de partículas y por lo tanto limpieza más eficiente en las avenidas que en las calles.

Esta hipótesis no se puede verificar únicamente en base a un dato tomado en una calle, por lo que se recomienda en estudios futuros de cualquier clase de contaminantes, lograr una distribución más representativa en cuanto a muestreos en calles y en avenidas.

Es muy interesante notar la disminución de los niveles de plomo en mediciones realizadas en días de fin de semana (domingo): (ver figura #10)

Localidad	Contenido de plomo promedio entre semana	Contenido de plomo en día domingo	Disminución %
13 av 9 c.	3.49	0.82	76
11 av 14 c.	1.39	0.55	60
2 av 14 c.	1.99	0.74	63

Esta disminución proviene del hecho de la menor afluencia de tráfico hacía el centro (zona 1) en los días de fin de semana. Esto nos indica que el flujo de automoviles que hay en la zona 1, no es local sino que durante los días entre semana proviene de otras zonas de la capital con fines de actividades laborales y comerciales. Los niveles de plomo en fin de semana puede ser que provengan del flujo de vehiculos locales y en parte de ocasionales vehículos que cruzan esta zona para mobilizarse de un lado a otro de la ciudad.

Estos niveles de plomo en aire, se midieron entre 11am y 1 pm, para determinar los niveles máximos de fin de semana (domingo) y poderlos así comparar directamente con los niveles máximos encontrados en días entre semana a la misma hora.

En el presente estudio sí se midieron niveles mínimos de contenido de plomo en aire, en días entre semana (en la noche). Desafortunadamente no se tuvo la oportunidad de muestrear niveles mínimos durante las noches de fin de semana. Se recomienda en estudios posteriores, tomar este dato ya que es muy importante en cuanto a que nos daría una idea de los niveles base;(background) o sea los niveles de menor

contaminación de plomo en aire, existentes en la zona 1. Es importante también, el saber si después de un día de poco flujo de tráfico (domingo), los niveles de plomo en aire bajan hasta lograr una limpieza total de la atmósfera, por procesos meteorológicos favorables.

Para tener una idea de los niveles de plomo existentes en los interiores de las casas de la zona 1, se hizo una medición dentro de la casa situada en la 11 av 14 calle. El contenido de plomo en aire, fue mucho menor que los niveles medidos en el exterior de esta casa:

Lugar:	11 av 14 calle.	Contenido de Pb promedio en el exterior	Contenido de Pb en el interior
		$1.39 \pm 0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0.14 ± 0.02

Estos datos nos indican una disminución de aproximadamente 90% de los contenidos de plomo exteriores con respecto al interior. Sin embargo, habría que realizar un estudio más extenso sobre niveles de plomo en interiores ya que no todas las casas son construidas de la misma forma, ni se habitan para los mismos fines de residencia. Por ejemplo dentro de los locales de comercio, los cuales están bastante expuestos al aire de la calle, pudieran existir niveles de plomo superiores al dato encontrado para interiores en el presente estudio.

Otro dato tomado en interiores, fue el del laboratorio 202, en la Universidad del Valle. De los dos muestreos llevados a cabo, uno denota niveles de plomo provenientes de algún tipo de contaminación:

Salón 202 : nivel de plomo = $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Salón 202
contaminado : nivel de plomo = $1.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En el mismo día en que se llevo a cabo el muestreo en el salón 202 (dato contaminado), se trabajó con gasolina en este mismo laboratorio y en especial se usó la gasolina para quitar manchas de grasa existentes en el piso del laboratorio. De tal modo que los resultados del análisis de este lugar nos demuestran un grado bastante alto de contaminación por plomo del aire. Este hecho nos indica que la evaporación de la gasolina, a partir de depositos, tanques de gasolina, etc, también contribuye al contenido de plomo en la atmósfera el cual proviene en su mayoría de la combustión de la gasolina.

Después de ventilar bien el salón, se tomó nuevamente una muestra del aire mas o menos una semana despues de la primera medición. Este segundo dato (cuadro #29) si representa con más exactitud los niveles típicos hallados dentro de un laboratorio.

Tomando muestreos de referencia de lugares poco contaminados, se obtuvieron los siguientes niveles de plomo:

-U. del Valle.

Portón de acceso: 0.18-0.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

-Campo final Petapa

zona 12: 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En la Universidad del Valle, se muestreó el portón de entrada del establecimiento y por lo tanto los niveles de plomo nos indican un flujo pequeño de vehículos cerca de este lugar. Cabe mencionar el hecho que el muestreo se llevó a cabo del lado interior del portón así que el movimiento de vehículos y por lo tanto niveles de plomo en aire, provi-

nieron basicamente del interior. De haberse muestreado en el lado de la calle, se hubieran hallado niveles de plomo mayores debido al mayor flujo de tráfico que existe hacia Vista Hermosa III, Universidad Rafael Landivar, etc; localidades cercanas a la UDV.

La medición del campo al final de la Avenida Petapa (zona 12), se hizo con el objeto de tratar de establecer los niveles de plomo en aire proveniente de la ciudad cuando soplara viento Norte. Desgraciadamente el contenido de plomo fue tan pequeño que no se le pudo diferenciar con respecto a la respuesta dada por la muestra en blanco de HNO_3 al 1%. Por consiguiente la incertidumbre asignada a la medición es muy alta. (ver cuadro #29). De esta forma no se pudo establecer ninguna relación entre los niveles de plomo arrastrados por el viento desde la ciudad, con los niveles típicos del lugar muestreado en la zona 12.

En general, el nivel máximo de plomo en aire se encontró en la 13 av y 9 calle, y el nivel mínimo en la 7 av y 12 calle. Sin embargo los niveles máximos y mínimos dentro de una misma localidad, se pueden visualizar mejor en la figura # 10 . En la figura # 11, se pueden apreciar los niveles promedio de plomo en cada localidad. Esta figura solo representa niveles de plomo entre semana ya que en días de fin de semana solo se logró hacer una medición en cada una de tres localidades. La localidad de la UDV, denotó contaminación por plomo proveniente de tráfico interno, por lo tanto se tomó como medición de referencia de niveles Sub-Urbanos; mientras que la medición del final de la Petapa, zona 12, se puede tomar como nivel típico de campo o nivel no urbano.

- Niveles de plomo durante muestreos de todo el día en la 11 av 14 calle. (Figuras # 12, 13, 14; Cuadros # 30,31)

Para tener una idea de la variación de los niveles de plomo en aire a través del día, se incluyó en el presente trabajo un muestreo para llenar tales requisitos.

Se hizo solo en una localidad en base a la hipótesis que al estar las otras localidades dentro de un área parecida, mostrarían variaciones similares entre sí.

Por conveniencia se escogió la localidad situada en la 11 av 14 calle, y se diseñó un plan de trabajo en el que se cambió filtro cada hora durante las horas de mayor flujo de tráfico, y cada dos horas durante las de menor tráfico. En el primer muestreo las horas de mayor tráfico se determinaron en base a observaciones informales. El muestreo de intervalos de tiempo de dos horas o más, se hizo con el propósito de lograr recoger en el filtro, cantidades de plomo analizables con buena precisión con el método de AA. Para estudiar estas variaciones en la concentración del contaminante durante el día nos referiremos a las figuras 12 y 13:

1. Muestreo. 6-10 am: los niveles de plomo en este periodo no son significativamente diferentes ($p=.05$). Por lo tanto al promediarlos se obtiene un nivel de $1.53 \mu\text{g de Pb/m}^3$. Estos niveles son probablemente altos debido a la gran cantidad de personas que entran al trabajo. Si no se hubiera incluido en promedio la hora de 6-7, los niveles de plomo podrían haber sido más altos .

10-11 am: $0.82 \mu\text{g Pb/m}^3$. los niveles de este período son menores estadísticamente que los del período anterior y posterior. (Cuadro # 35). Disminuten quizás por la disminución de tráfico.

11-3 pm : promedio de niveles = $1,22 \mu\text{g Pb/m}^3$. Este nivel no es tan alto como el de las 6-10am, quizás porque debido a la jornada única, no salen del carro tantos carros como los que entraron en la mañana.

3-9pm: Promedio de niveles de Pb = $.80 \mu\text{g Pb/m}^3$. Estos niveles no son estadísticamente diferentes (cuadro #35 figura #16) a pesar de que el tráfico es alto alrededor de las 5-6 de la tarde. El nivel de plomo no presenta un máximo quizás debido a que el viento de 3-5 (4.1 m/seg) fué casi del doble que el promedio de vientos de la mañana (2.37 m/seg).

9-12: $1.45 \mu\text{g Pb/m}^3$ 12-4am : $3.33 \mu\text{g Pb/m}^3$. A estas horas se encuentran unos máximos sumamente sorprendentes ya que al iniciarse este trabajo se pensó que durante la noche se encontrarían los niveles menores de contaminación; debido al poco tráfico.

Tratando de explicar los máximos encontrados durante la noche, se pueden postular las siguientes razones:

-Al disminuir notablemente la velocidad del viento a partir de las 9 de la noche (Cuadro # 35), los procesos de limpieza cesaron quedándose el plomo suspendido en el aire; por lo cual los niveles de plomo se empezaron a acumular a partir de las nueve, llegándose a un máximo a las 12 de la noche.

-Cambio en la dirección del viento, el cual regresó al área, contaminación de plomo arrastrada durante el día fuera del área. Aunque la dilución del plomo en la atmósfera hace que esta razón contribuya poco.

Para discutir el segundo muestreo de plomo durante todo un día en la 11 av 14 calle, nos referiremos a las figuras # 13, 14.

2 muestreo: 2-4am, 4-6am. Estos niveles no fueron estadísticamente diferentes (cuadro # 36), por lo que al promediarlos tenemos un nivel de plomo de $0.25 \mu\text{g Pb/m}^3$. Durante estas horas el viento se

mantuvo mas o menos constante (cuadro #31 figura #13) y el nivel promedio de plomo es bajo debido probablemente al poco tráfico. 6-7 am: $1.24 \mu\text{g Pb/m}^3$. El viento no ha cambiado significativamente y los niveles de plomo en aire comienzan a subir debido al despertar de la ciudad.

7-8 am: $1.97 \mu\text{g Pb/m}^3$, 8-9 am: $2.93 \mu\text{g Pb/m}^3$. Estos niveles son estadísticamente diferentes pero ambos son altos por el alto flujo de tráfico (figura #13) que llega al centro, o que lo cruza para desplazarse a zonas que quedan del otro lado de la zona 1. 9-10 am: $1.55 \mu\text{g Pb/m}^3$. Este nivel de plomo es menor (ver análisis estadístico figura #16) que el de la hora anterior, pero aún es alto con respecto a los niveles encontrados durante el resto del día.

10am-5pm: Promedio = $1.02 \mu\text{g Pb/m}^3$. Datos de plomo estadísticamente iguales. El viento aumenta su velocidad (3.47 m/seg) con respecto a las horas anteriores (promedio = 2.28 m/seg). Los niveles de plomo no presentan un máximo (a mediodía) significativo a pesar de que el flujo de tráfico fué uno de los más altos del día (figura # 13) . Este hecho puede deberse a que como el viento aumentó, a medida que se producían las emisiones de plomo, este las iba arrastrando fuera del área; disminuyendo así su concentración.

5-7 pm : Promedio de Pb= $1.37 \mu\text{g Pb/m}^3$.A pesar de que el viento no es significativamente diferente que los anteriores, el Pb aumenta debido probablemente al flujo de tráfico, el cual es el mayor de todo el día (figura # 13). A esta hora la gente se moviliza para regresar a su hogar después de sus actividades comerciales y pro-

fesionales, lo cual implicó el mayor flujo de tráfico.

7-11 pm : promedio de Plomo = $0.64 \mu\text{g Pb/m}^3$. Los niveles de plomo bajan proporcionalmente a la rápida disminución de flujo automotriz.

11-12 pm: $1.06 \mu\text{g Pb/m}^3$. Nuevamente un pequeño máximo alrededor de las 12 pm provocado por actividades nocturnas alrededor de esta zona.

12-2am : $0.44 \mu\text{g Pb/m}^3$: Niveles de plomo provenientes quizás de la actividad intensificada (salidas de cine, cierre de restaurants, etc) de tráfico alrededor de estas horas. Este muestreo se llevó a cabo en día viernes, donde este tipo de actividades a las 12 pm son frecuentes.

El mayor flujo de vehículos se encontró de 8-10, 11-1pm y de 4-7pm. (figura # 13). Este hecho nos demuestra que sí existe una relación entre los niveles de plomo en aire y tráfico de vehículos; sin embargo, esta relación no es directa ya que el factor de la velocidad del viento, afecta también grandemente los niveles de plomo en el aire.

VI.3.C. Análisis estadístico de comparación de datos de Pb en aire de la zona 1, muestreos de todo el día.

CUADRO 35.

Análisis estadístico de niveles de plomo en aire.
(primer muestreo 11 av 14 calle)

Horas del día comparadas	Contenido de Pb $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv.Std.	t *	Diferencia significativa.
6-8 am	1.64	.23	1.42	no
8-10	1.41	.16		
8-10	1.41	.16	4.96	si, p < .05
10-11	0.82	.13		
10-11	0.82	.13	4.53	si, p < .05
11-12	1.38	.17		
11-12 am	1.38	.17	1.87	no
12-1 pm	1.12	.17		
12-1	1.12	.17	0.37	no
1-3	1.17	.16		
1-3	1.17	.16	4.13	si, p < .05
3-5	0.72	.10		
3-5	0.72	.10	2.21	no
5-6	0.91	.11		
5-6	0.91	.11	0.71	no
6-7	0.84	.13		
6-7	0.84	.13	1.06	no
7-9	0.74	.10		
7-9	0.74	.10	6.24	si, p < .05
9-12 pm	1.45	.17		
9-12	1.45	.17	8.99	si, p < .05
12-4 am	3.33	.32		

*Valor de t para p=0.05 tomando N=4 grados de libertad; es 2.78.

CUADRO 36.

Análisis estadístico de niveles de plomo en aire.

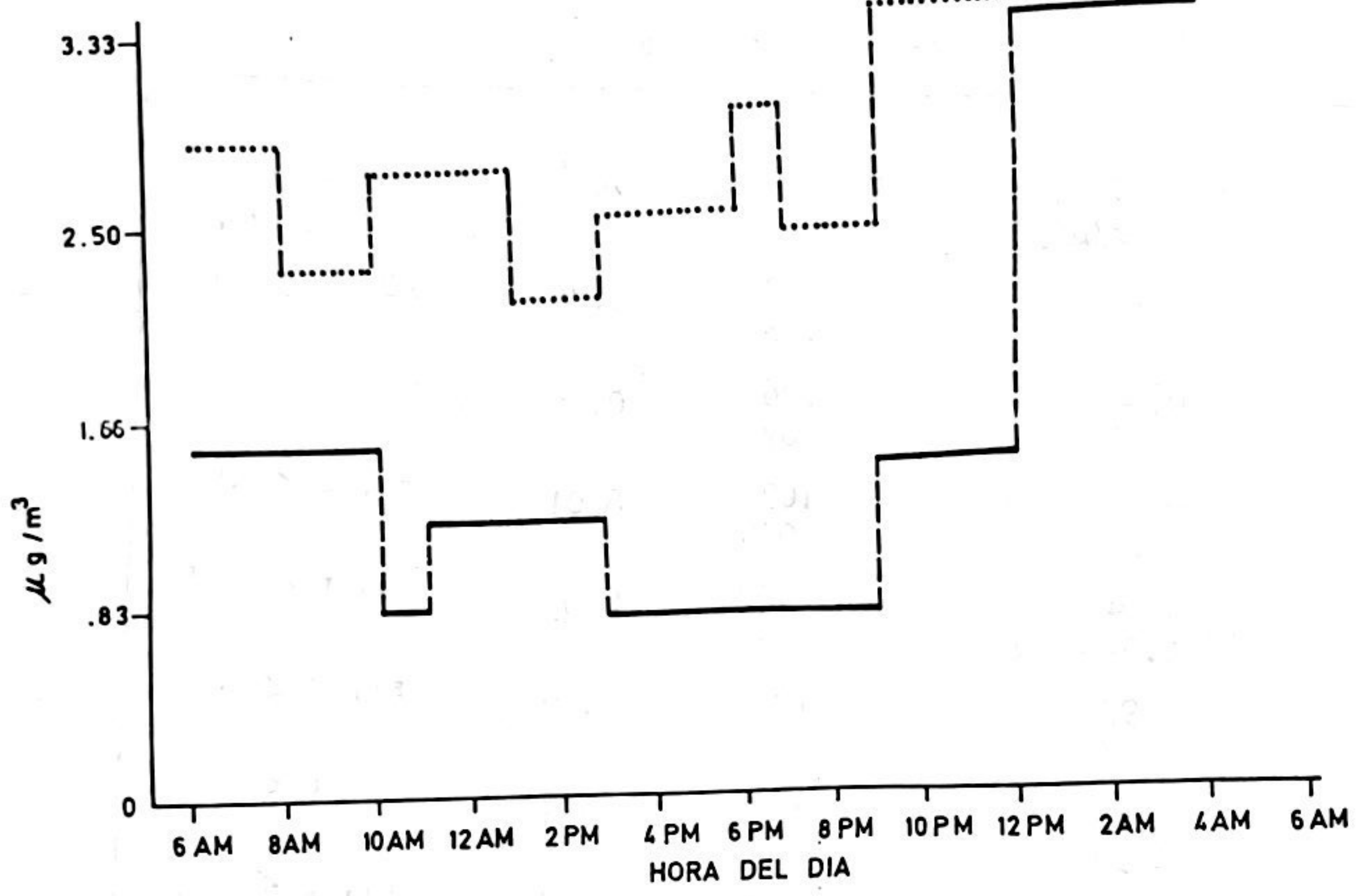
(Segundo muestreo 11 av 14 calle)

Horas del día comparadas.	Contenido de Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desv.Std.	t *	Diferencia significativa.
12-2am	0.44	.07	3.76	si, p < .05
2-4	0.24	.06		
2-4	0.24	.06	0.38	no
4-6	0.26	.07		
4-6	0.26	.07	8.01	si, p < .05
6-7	1.24	.020		
6-7	1.24	.020	4.05	si, p < .05
7-8	1.97	.24		
7-8	1.97	.24	4.29	si, p < .05
8-9	2.93	.31		
8-9	2.93	.31	6.60	si, p < .05
9-10	1.55	.19		
9-10	1.55	.19	4.51	si, p < .05
10-11	0.95	.13		
10-11	0.95	.13	0.82	no
11-12am	0.86	.14		
11-12	0.86	.14	2.19	no
12-1	1.12	.15		
12-1 pm	1.12	.15	0.87	no
1-2	1.02	.13		
1-2	1.02	.13	0.08	no
2-3	1.01	.16		
2-3	1.01	.16	1.27	no
3-4	1.21	.22		
3-4	1.21	.22	1.56	no
4-5	0.98	.13		
4-5	0.98	.13	3.59	si, p < .05
5-6	1.52	.23		
5-6	1.52	.23	1.85	no
6-7	1.22	.16		
6-7	1.22	.16	4.82	si, p < .05
7-9	0.68	.11		
7-9	0.68	.11	1.10	no
9-11	0.59	.09		
9-11	0.59	.09	3.7	si, p < .05
11-12pm	1.06	.20		

* Valor de t para $p=.05$ 2.78. 4 grados de libertad

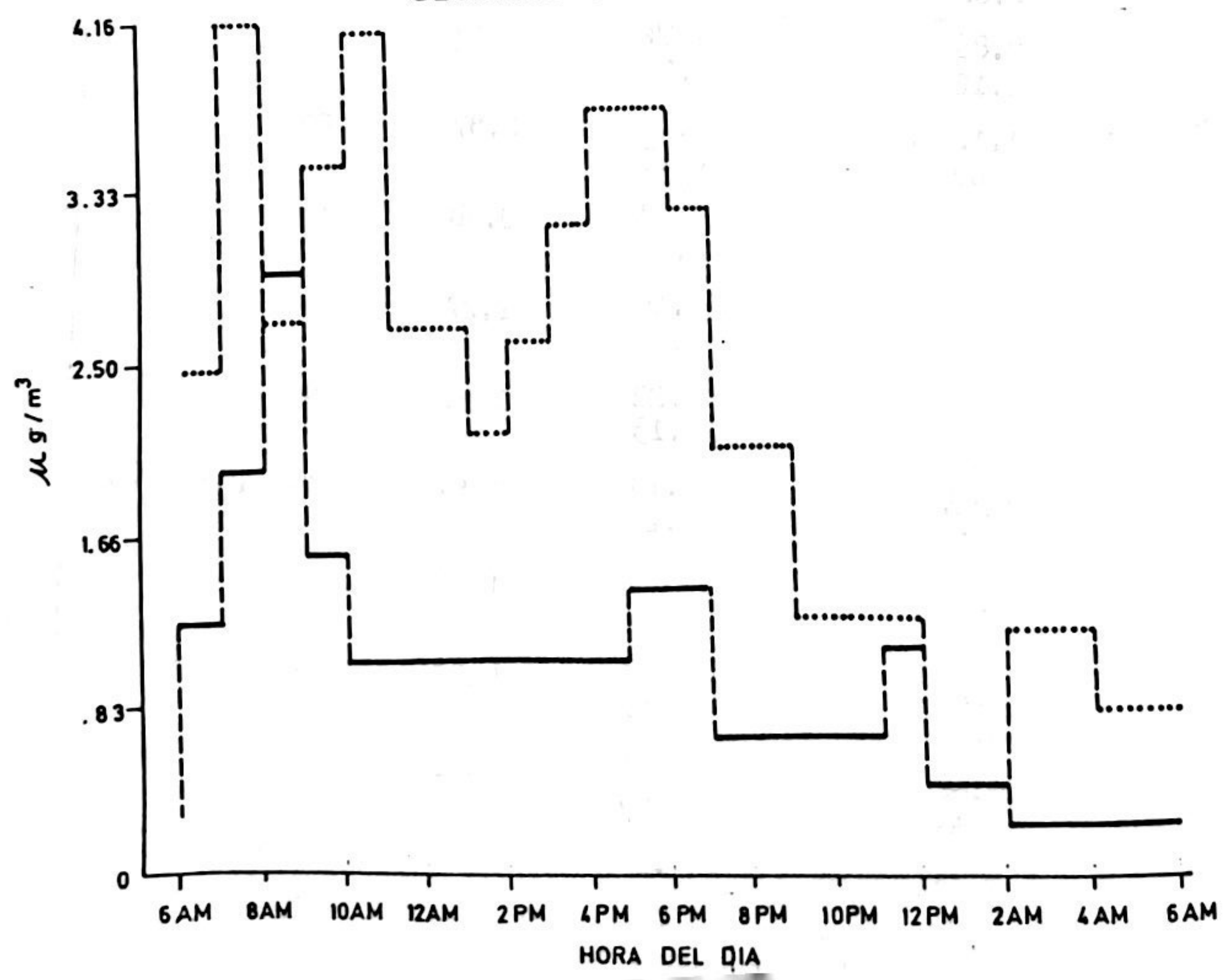
FIGURA # 16
COMPARACION ESTADISTICA DE CONTENIDOS DE PLOMO
Y HIERRO EN MUESTREOS DE TODO EL DIA
(11 AV. 14 CALLE)

PRIMER MUESTREO



..... HIERRO
 ————— PLOMO

SEGUNDO MUESTREO



VI.3.D Discusión sobre niveles de hierro en aire.

Los contenidos de hierro en aire de la zona 1 de esta capital, varían de 0.89-6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en días entre semana, y de 1.95-2.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en fines de semana (domingo). Promediando estos datos para tener una idea promedio general tenemos:

- nivel promedio de Fe, días entre semana 3.56 \pm 1.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- nivel promedio de Fe, días domingo 2.39 \pm 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- nivel promedio de Fe, 1^o muestreo (1 día) 2.73 \pm 0.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- nivel promedio de Fe, 2^o muestreo (1 día) 2.50 \pm 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Con respecto a la variación en los contenidos de hierro entre semana en las diferentes localidades, tenemos los siguientes resultados promedio de cada localidad:

CUADRO 37.

Localidad	Contenido de Fe promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desviación Standard $\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
6 av 2 calle	4.19	2.4	57
13 av 9 calle	6.65	0.21	6
1 calle 10 av	2.41	0.10	4
11 av 14 calle	3.85	1.05	27
7 av 12 calle	2.26	0.44	19
2 av 14 calle	1.55	0.93	60
U.del Valle. VHIII.	0.81	0.07	9

Nuevamente se promediaron los resultados de hierro en aire en una misma localidad para tener una idea general de los contenidos de Fe en cada localidad. Como se mencionó anteriormente para el plomo en aire, este procedimiento no es muy válido ya que los factores climatológicos no uniformes dentro de una misma localidad, afecta los niveles de Fe en el aire. Por lo tanto las variaciones tan altas dentro de una misma localidad (60%) provienen de la heterogeneidad de parámetros.

CUADRO 38.

Niveles de Fe, hallados en el aire de diferentes países.

Lugar	Contenido de Hierro $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Referencia.
New York (1973)	1.58	(59)
Texas (1971), promedio.	0.1-10	(62)
Chicago (1970)	1.1	(63)
Cincinnati (1970)	1.8	(63)
Denver (1970)	0.8	(63)
Filadelfia (1970)	0.7	(63)
St.Louis (1970)	1.1	(63)
Washington D.C. (1970)	0.6	(63)
Arizona (1974) Rural Urbana	0.067 2.9	(61)
New York (1970)	2.98	(59)
St.Louis (1973)	0.53	(43)
Tucson, Arizona (1972)	3.7	(45)

Los niveles de hierro en aire presentados en el presente estudio, son en promedio $2.39-3.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Promediando varios datos del cuadro anterior tenemos un nivel urbano para ciudades de EEUU = $2.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En general podemos afirmar que nuestros niveles de hierro en aire son superiores que los del cuadro # 38, sin embargo no es una afirmación categórica ya que para el hierro al igual que para el plomo, existen condiciones que hacen difíciles las comparaciones directas.

Entre estas tenemos las siguientes discrepancias:

-La mayoría de hierro encontrado en el aire en este estudio, proviene de hierro que se encuentra en el polvo. Sin embargo, los datos de Fe

del cuadro # 38 provienen a veces de episodios de contaminación industrial. En este estudio se encontraron niveles de hierro altos (cuadro # 37) debido quizás a que en los alrededores de la capital todavía hay muchas calles sin asfalto y por lo tanto el hierro contenido en este polvo del suelo, es transportado a diferentes lugares en el aire de toda la ciudad.

-En los estudios del cuadro # 38, no se dá información de la velocidad de los vientos. Este dato es muy importante ya que el viento levanta mucho polvo de las calles aumentando así el contenido de hierro en el aire.

Aquí los suelos parecen ser más ricos en hierro comparados con algunos suelos de otros países del cuadro # 38. Por ejemplo, el promedio de hierro en suelos del presente estudio es $13,045 \pm 2070 \mu\text{g}/\text{gr}$.

En otros países se han encontrado niveles de $6,200 \mu\text{g}/\text{gr}$. (54)

-También en el caso del hierro la altura a la que se llevó a cabo el muestreo es un dato sumamente importante ya que entre más cerca del suelo este colocado el punto de muestreo, más probabilidad habrá de que recoja mas partículas provenientes del suelo de las calles, las cuales tendran contenidos de hierro mayores que las partículas suspensas en el aire. Este dato de altura no se menciona en los estudios del cuadro # 38.

Otro factor que puede afectar los resultados de hierro en aire, es la geometria de las calles donde se llevan a cabo los muestreos de Fe en aire. Las calles de la zona 1 son bastantes estrechas y con el movimiento de vehículos, las partículas del suelo continuamente estan re-entrando al aire, causando niveles de Fe altos, de origen natural.

-En estudios llevados a cabo en EEUU (58) se demostró que los niveles de metales en aire, provenientes en su mayoría del suelo, p.ej. Fe, se encontraron en el aire en mayores concentraciones durante los meses más secos durante el verano. Nuestro muestreo de hierro en aire se realizó en los meses de febrero y marzo, unos de los meses más secos del año. En base a estos hechos podemos suponer que los niveles de hierro en aire podrían ser los mayores de todo el año. La época de lluvias además de lavar la atmósfera, impide que el polvo se levante de las calles, por lo tanto sería interesante realizar muestreos después de la lluvia para tener una idea de los niveles típicos de Fe acumulados durante el día.

Con respecto a los límites de seguridad de hierro en aire, no se puede decir mucho ya que en la literatura revisada no se encontró esta información. Se podría pensar así que no es muy importante el nivel de Fe en aire desde el punto de vista de salud pública. Esto podría deberse a la siguiente razón:

La mayoría de las partículas de hierro existentes en el aire se encuentran en un rango de tamaños mayores de 1 micra (16). El tamaño de partículas atrapadas con alta eficiencia en el sistema respiratorio es de 0.05-1 micra.(16) Por lo tanto, al tener las partículas de hierro tamaños mayores de 1 micra, son filtradas eficientemente en el sistema respiratorio, y luego son eliminadas.

Sin embargo, sin importar el tamaño de las partículas, los metales en el aire pueden presentarse en forma de diferentes compuestos químicos que al ser inhalados producen cierto grado de irritación del sistema respiratorio.(63)

El parámetro de la velocidad del viento no se puede correlacionar directamente con el contenido de hierro en la atmósfera. En las localidades de la 7 av 12 calle, 6 av 2 calle, 11 av 14 calle y V.H.III, el hierro varió proporcionalmente a la velocidad del viento; lo cual podría implicar que el viento levanta polvo y aumenta los niveles de Fe en aire. Sin embargo, en las localidades de la 1 calle 10av, 2 av 14 calle, el hierro varió inversamente proporcional a la velocidad del viento. Por lo tanto no se puede inferir con claridad los motivos de las variaciones del hierro en el aire, en los muestreos llevados a cabo dentro de una misma localidad. Podría darse el caso de que aunque no haya viento fuerte, los niveles de hierro sean altos debidos a un mayor flujo de tráfico ya que este afecta los niveles de Fe en aire.

El peso de la materia en suspensión varió en la mayoría de los casos, proporcionalmente a los niveles de hierro. En cuanto al peso de las partículas en suspensión en muestreos llevados a cabo durante todo el día; y relacionándolas con los niveles de hierro y viento, tenemos lo siguiente:

1 muestreo: Los niveles más altos de hierro se alcanzan de 6-7 pm y de 9-12 pm, también a estas horas se encontró pesos altos de materia particulada en suspensión. Las horas de mayor viento fueron de 3-9pm (ver cuadro # 30 figura # 12) estos vientos al levantar polvo del suelo pueden haber sido los causantes de que en el muestreo de las 9pm, se encontraran los niveles más altos de hierro de todo el día.

En este muestreo, el hierro denotó unos ligeros máximos a las horas de mayor flujo de tráfico (horas también donde se encontraron niveles de plomo altos) de 6-8am, 10-11am, 12-1pm, 6-7pm; esto no proviene del hecho que los vehículos sean propiamente fuentes de hierro, sino que su

acción física sobre el asfalto y la emisión de los escapes, levantan el polvo de las calles el cual puede mantenerse suspendido por ciertos periodos de tiempo.

2 muestreo: Los contenidos mayores de hierro se encontraron (ver cuadro # 31 figura # 14) de la 7-8am, 10-11 am, 5-6 pm. Estas horas no son necesariamente las horas donde se encontraron los máximos niveles de materia en suspensión; hallados de 12-1pm y de 4-5 pm. Las horas de mayor velocidad del viento fueron de 10-1pm y de 2-4 pm.

Es muy interesante el hecho que en este muestreo los contenidos de hierro máximos se encontraron en las horas de mayor tráfico (horas a la vez de niveles de plomo más altos). El factor que correlaciona a los dos contaminantes ,Fe y Pb, y que los hace variar proporcionalmente es el del flujo de tráfico automotriz. El plomo aumenta al aumentar el tráfico ya que proviene en su gran mayoría de las emisiones de los vehículos; el hierro aumenta al aumentar el tráfico no porque provenga de este sino que la acción física de los vehículos promueve el aumento de polvo en el aire y por lo tanto incrementa los niveles de hierro en el mismo.

VI.3.E-Análisis estadístico de contenidos de hierro en aire, para el primer y segundo muestreo llevados a cabo en la 11av 14c.

En la figura # 16 , cuadros # 39,40 , se puede observar la relación entre niveles de hierro y plomo de los muestreos de todo un día.

Los niveles de hierro de las diferentes horas del día, al compararlas estadísticamente (Cuadro # 39), nos dan los siguientes resultados promedio de los niveles de Fe a horas diferentes:

Hora	1 Muestreo Fe, promedio ($\mu\text{g Fe/m}^3$)	Hora	2 muestreo Fe, promedio, ($\mu\text{g Fe/m}^3$)
6-8	2.87	6-7	2.43
8-10	2.31	7-8	4.15
10-1pm	2.74	8-9	2.67
1-3	2.16	9-10	3.45
3-6	2.53	10-11	4.1
6-7	2.97	11-1pm	2.63
7-9	2.44	1-2	2.11
9-4am	3.36	2-3	2.58
		3-4	3.14
		4-6	3.71
		6-7	3.2
		7-9	2.05
		9-12pm	1.22
		12-2am	0.5
		2-4	1.16
		4-6	0.83

VI.3. Análisis estadístico de datos de contenidos de hierro en aire

Muestreos de todo el día, en la 11 av 14 calle.

CUADRO 39,

Contenidos de hierro en aire, primer muestreo.

Horas del día comparadas	Contenido de hierro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desv. Std.	t *	Diferencia significativa.
6-8am	2.87	.19	3.9	si, $p < .05$
8-10	2.31	.16		
8-10	2.31	.16	2.99	si, $p < .05$
10-11	2.78	.22		
10-11	2.78	.22	0.66	no
11-12	2.67	.19		
11-12	2.67	.19	0.54	no
12-1pm	2.76	.22		
12-1	2.76	.22	3.9	si, $p < .05$
1-3	2.16	.15		
1-3	2.16	.15	3.25	si, $p < .05$
3-5	2.60	.18		
3-5	2.60	.18	0.99	no
5-6	2.45	.19		
5-6	2.45	.19	3.02	si, $p < .05$
6-7	2.97	.23		
6-7	2.97	.23	3.14	si, $p < .05$
7-9	2.44	.18		
7-9	2.44	.18	6.29	si, $p < .05$
9-12pm	3.50	.23		
9-12	3.50	.23	1.68	no
2-4 am	3.21	.19		

* Valor de t para $p = .05$ con 4 grados de libertad 2.78

CUADRO 40.

Análisis estadístico de niveles de hierro en aire.
(segundo muestreo)

Hora del día comparadas	Contenido de hierro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desv.Std.	t *	Diferenciación significativa.
12-2 am	0.50	0.04	11.6	si, $p < .05$
2-4	1.16	0.09		
2-4	1.16	0.09	5.01	si, $p < .05$
4-6	0.83	0.07		
4-6	0.83	0.07	15.9	si, $p < .05$
6-7	2.43	0.16		
6-7	2.43	0.16	9.5	si, $p < .05$
7-8	4.15	0.27		
7-8	4.15	0.27	8.03	si, $p < .05$
8-9	2.67	0.17		
8-9	2.67	0.17	4.35	si, $p < .05$
9-10	3.45	0.26		
9-10	3.45	0.26	2.89	si, $p < .05$
10-11	4.1	0.29		
10-11	4.1	0.29	7.36	si, $p < .05$
11-12 am	2.65	0.18		
11-12	2.65	0.18	0.26	no
12-1	2.61	0.19	3.40	si, $p < .05$
12-1	2.61	0.19		
1-2	2.11	0.17	3.19	si, $p < .05$
1-2	2.11	0.17		
2-3	2.58	0.19	3.33	si, $p < .05$
2-3	2.58	0.19		
3-4	3.14	0.20	2.87	si, $p < .05$
3-4	3.14	0.20		
4-5	3.67	0.25	0.35	no
4-5	3.67	0.25		
5-6	3.74	0.24	2.78	si, $p < .05$
5-6	3.74	0.24		
6-7	3.20	0.25	6.95	si, $p < .05$
6-7	3.20	0.25		
7-9	2.05	0.14	6.76	si, $p < .05$
7-9	2.05	0.14		
9-11	1.33	0.12	2.55	no
9-11	1.33	0.12		
11-12pm	1.10	0.10		

* Valor de t para $p = .05$ 2.78 para 4 grados de libertad.

VI.3.F. Discusión sobre niveles de partículas en suspensión en el aire.

Para diferentes países del mundo, los límites de seguridad en cuanto a partículas en suspensión para exposiciones a largo plazo son (12):

CUADRO 41.

País	Peso de partículas en suspensión mg/m ³		
Francia	0.150	24 horas	
Italia	0.300	24 horas	
	0.750	2 horas	
Filipinas	Area residencial	0.600	1 hora
	Area industrial	0.900	1 hora
	Area residencial	0.200	24 horas
	Area industrial	0.300	24 horas
Argentina	0.150		
Colombia, España	0.100		
Bulgaria, Checoslovaquia, Alemania del Este, Rumania, Rusia, Finlandia,	0.150		
Japón	0.200		
	0.100	24 horas	

En un estudio llevado a cabo en la ciudad de New York (59), se encontraron los siguientes resultados en cuanto a partículas suspensas totales en el aire (TSP):

Año	Peso de partículas en suspensión mg/m ³
1969	0.147
1972	0.079
1973	0.084
1974	0.076
1975	0.065

En el estudio de la USAC (35), en el año 1977 los niveles máximos encontrados durante todo el año fueron de 0.345 mg/m³.

En el estudio de recomendaciones de la Municipalidad de Guatemala (34), se proponen niveles de partículas en suspensión de:

Promedio Geometrico anual	0.060 mg/m ³
Concentración máxima en 24 horas	0.100 mg/m ³

En el presente estudio, los niveles de partículas en suspensión son los siguientes:

	Rango(mg/m ³)	Promedio (mg/m ³)
-niveles de partículas en suspensión en muestreos a las 12 am.	0.04-0.380	0.183± 0.089
-niveles de partículas en suspensión en primer muestreo de todo el día,	0.115-0.247	0.178± 0.047
-niveles de partículas en suspensión en segundo muestreo de todo el día.	0.058-0.345	0.210± 0.085

Comparando todos los datos mencionados anteriormente, podemos concluir que en la zona 1 se alcanzan a ciertas horas del día, niveles máximos (0.345-0.380) de partículas suspendidas en el aire. En 14 de los países mencionados anteriormente que poseen normas de partículas en el aire, recomiendan, para exposiciones a largo plazo, niveles de partículas suspendidas en el aire menores que los encontrados en el presente estudio. Esta situación es alarmante y se empeorará si no se emiten regulaciones en cuanto a los escapes de automoviles, en especial de camionetas y buses los cuales lanzan chorros de humo negro al ambiente, el cual esta constituido basicamente por partículas de carbón. Es necesario implantar regulaciones sobre el uso de filtros para disminuir las emisiones automotrices a la atmósfera, y mantener el motor afinado regularmente.

A pesar de que existen ciertas relaciones entre contenidos de partículas en el aire, con respecto a viento y tráfico de vehículos; no se puede establecer ninguna relación directa entre estos tres parámetros debido a que existen otros factores que afectan, en menor escala, los niveles de partículas suspendidas en el aire. Entre ellos tenemos la producción de partículas a partir de la acción de la radiación solar sobre ciertos contaminantes, p.ej. sobre SO_2 para producir partículas de ácido sulfurico. (66) El efecto de la humedad sobre las partículas también es bastante significativo ya que se ha demostrado que los aerosoles son higroscópicos. (67) Por ejemplo en el segundo muestreo de todo el día, cuadro # 31, el nivel de partículas de las 12pm-2 am, es bastante alto en comparación con el resto del día, si se toma en cuenta que no había muchos vehículos que levantaran el polvo de las calles, ni que emitieran partículas al aire. Se podría pensar que al aumentar la humedad relativa, las partículas absorbieron parte del vapor de agua del ambiente y por lo tanto pesaron considerablemente.

En una sola localidad, 11 av 14 calle, se hicieron mediciones del polvo sedimentable, colocando dos filtros a una altura de mas o menos 0.5-0.6 metros. Se dejaron los filtros durante las 24 horas del día y se obtuvieron los siguientes resultados:

-Promedio de plomo en filtro 1+filtro 2 : $66.4 \mu\text{g Pb}/15\text{cm}^2/\text{día} \pm 7.6$

-Promedio de Hierro en filtro 1 + 2 : $1950 \mu\text{g Fe}/15\text{cm}^2/\text{día} \pm 166$

-Resultado de Pb en polvo sedimentable = $4.43 \pm 0.5 \mu\text{g Pb}/\text{cm}^2/\text{día}$

-Resultado de Fe en polvo sedimentable = $130 \pm 11 \mu\text{g Fe}/\text{cm}^2/\text{día}$.

Estos datos solo nos dan una idea vaga de lo que podrían ser los niveles de Pb y Fe en polvo sedimentable. Habría que realizar un estudio mas amplio utilizando tecnicas de muestreo uniformes, para poder com-

Se hicieron observaciones al microscopio de las partículas contenidas en los filtros. Desgraciadamente, no se contó con una cuadrícula para conteo de tamaños de partículas así que solo se trató de contar a grandes rasgos tamaños de partículas grandes, medianas, pequeñas. El tamaño standard que se tomó fué $5 \mu\text{m}$ o sea el tamaño del poro el cual se apreciaba muy bien con respecto a las partículas adyacentes. En base a estas observaciones a grosso modo, se podría decir que parece que hay más partículas mayores de 5 micras que menores. En el filtro se observaron una especie de cristales bien delimitados, transparentes, los cuales eran de tamaño menor que los poros. Se supuso que estos podrían ser de plomo. Las partículas de hollín o sea de carbón eran bastante abundantes y se miraban como aplastadas en el filtro.

Los filtros inicialmente eran de color blanco un poco opaco, después de cada muestreo se observaron negros, quizás debido a las partículas de hollín. En base a observaciones informales, se puede decir que el color del filtro después del muestreo no es proporcional al contenido de plomo. Por ejemplo los filtros menos negros, tenían a veces contenidos altos de plomo. Esto parece bastante razonable ya que lo negro se forma a partir de las emisiones de las camionetas principalmente, y en estas emisiones no hay plomo. Sin embargo esto es muy difícil de dilucidar a ciencia cierta, ya que en las localidades muestreadas no se pudo distinguir si el flujo dominante era de carros o de camionetas.

VI.3.3. Desarrollo de un modelo matemático para correlacionar el viento con los niveles de concentración de plomo en aire.

-Suposiciones en las cuales se basa el modelo:

- *la atmósfera se mueve en capas a través del valle.
- *el área(zona 1) posee fuentes continuas. Es un área uniforme donde solo varía la velocidad del viento.
- *en las diferentes capas de aire, hay turbulencia la que hace que los contaminantes se mezclen eficientemente y se distribuyan uniformemente hasta una altura crítica h_c .
- *la concentración se expresa en la dirección del flujo del viento.

-Especificación de nomenclatura:

P = Fuente de contaminación

a = Area de la zona 1

h_c = altura crítica que alcanza el contaminante en la atmósfera

v = velocidad del viento

V_o = volumen del aire

V_o , se puede definir como el área x altura crítica = $l \times ancho \times h_c$.

c_{max} = concentración máxima

C_{max} , se obtiene en términos de P (densidad de emisión) x área x el tiempo t de residencia de los contaminantes en el aire, dividido por el volumen total de aire:

$$c_{max} = \frac{a \cdot P \cdot t}{V_o} = \frac{P \cdot t}{h_c}$$

El tiempo t, se estima tomando en cuenta la longitud del área contaminada en la dirección del viento, y la velocidad efectiva del viento que transporta los contaminantes fuera del área: $t = l / v$

Por lo tanto $c_{max} = P \cdot l / v h_c(v)$

La altura crítica depende de la velocidad del viento puesto que en condiciones de viento = 0 , la h_c = difusión de los contaminantes. Pero en presencia de viento, los contaminantes no se elevan muy alto debido al desplazamiento horizontal de las capas de aire.

Para tener una aproximación de la h_c , se hará una expansión en series de Mc. Laurin. Así obtenemos la siguiente expresión:

$$h_c = h_0 + \left. \frac{dh_c}{dv} \right|_{v=0} v + \left. \frac{dh_c^2}{dv^2} \right|_{v=0} v^2 + \dots$$

1º término es igual a h cuando $v = 0$.

2º término debe ser cero ya que la velocidad en la dirección en que sopla el viento puede ser \neq pero h_c no puede depender de la dirección del viento. Este mismo argumento dice que derivadas impares son igual a cero.

3º término es la segunda derivada y se le designará como $-k_2$

Por lo tanto $h_c = h_0 - k_2 v^2$

→ $h_c = h_0 (1 - k_2 \cdot v^2 / h_0)$

substituyendo h_c en la fórmula de c_{max} tenemos:

$$c_{max} = \frac{P \cdot L / h_0}{v (1 - k_2 \cdot v^2 / h_0)}$$

$$c_{max} = \frac{A}{v (1 - B v^2)} \quad \underline{\underline{1}}$$

donde $A = P L / h_0 \quad g \cdot m^2 / seg \quad y \quad B = k_2 / h_0$

Para conocer B , procesamos la fórmula 1 , para dos sets de datos de concentración y viento, tenemos entonces:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{A / v_1 (1 - B v_1^2)}{A / v_2 (1 - B v_2^2)}$$

$$\Rightarrow \frac{C_1}{C_2} = \frac{v_2 (1 - B v_2^2)}{v_1 (1 - B v_1^2)}$$

por lo tanto podemos obtener la siguiente igualdad:

$$r (v_1 (1 - B v_1^2)) = v_2 (1 - B v_2^2)$$

$$\Rightarrow r v_1 - r B v_1^3 = v_2 - B v_2^3$$

despejando para B:

$$\frac{1}{B} = \frac{h_0}{k_2} = \frac{r v_1^3 - v_2^3}{r v_1 - v_2} \quad \underline{\underline{2}}$$

para obtener el valor de A usamos la fórmula # 1; despejando tenemos:

$$A = C (v(1 - B v^2)) \quad \underline{\underline{3}}$$

Los datos de plomo en aire además de variar con respecto al viento, varían con respecto al tráfico. Por lo tanto es necesario transformar las concentraciones de plomo, a niveles de plomo que habría en la atmósfera si el flujo de tráfico permaneciera constante.

Se escogieron los datos del segundo muestreo de plomo durante un día en la 11av 14 calle, y se corrigieron a tráfico constante.

Valores de B.		Valor de 1/B
Pares de datos comparados		
c-1-2 = 1.64	v-1-2 = 2.67	48.09
c-2-3 = 1.4	v-2-3 = 3.86	
c-3-4 = 1.45	v-3-4 = 3.47	53.51
c-2-3 = 1.4	v-2-3 = 3.86	
c-5-6 = 1.52	v-5-6 = 3.04	43.54
c-3-4 = 1.45	v-3-4 = 3.47	
c-5-6 = 1.52	v-5-6 = 3.04	48.28
c-2-3 = 1.4	v-2-3 = 3.86	
c-1-2 = 1.64	v-1-2 = 2.67	44.99
c-3-4 = 1.45	v-3-4 = 3.47	
c-1-2 = 1.64	v-1-2 = 2.67	47.47
c-5-6 = 1.52	v-5-6 = 3.04	

$$\text{Promedio de } 1/B = 47.65 \pm 3.43$$

$$B = 0.021$$

Aplicando la fórmula # 3, calculamos el valor de A para algunos de los pares de datos anteriores:

	Valor de A.
dato:	
c-1-2	3.72
c-2-3	3.71
c-3-4	3.76
c-5-6	3.73

$$\text{Promedio de A} = 3.73 \pm 0.02$$

Aplicando la fórmula 1, a los datos de plomo corregidos a tráfico constante obtenemos.

Datos:	C.Real corregida a tráfico cte.	C por modelo.	% de error.
Tarde. c-1-2	1.64	1.64	0
c-2-3	1.4	1.41	0
c-3-4	1.45	1.44	1
c-4-5	1.12	1.74	55
c-5-6	1.52	1.52	0
c-6-7	1.4	1.54	10
c-7-9	1.3	1.56	20
c-9-11	2.69	1.67	38
mañana.			
c-9-10	1.64	1.54	6
c-10-11	1.07	1.41	32
c-11-12	0.86	1.41	64
c-12-1	1.17	1.5	28

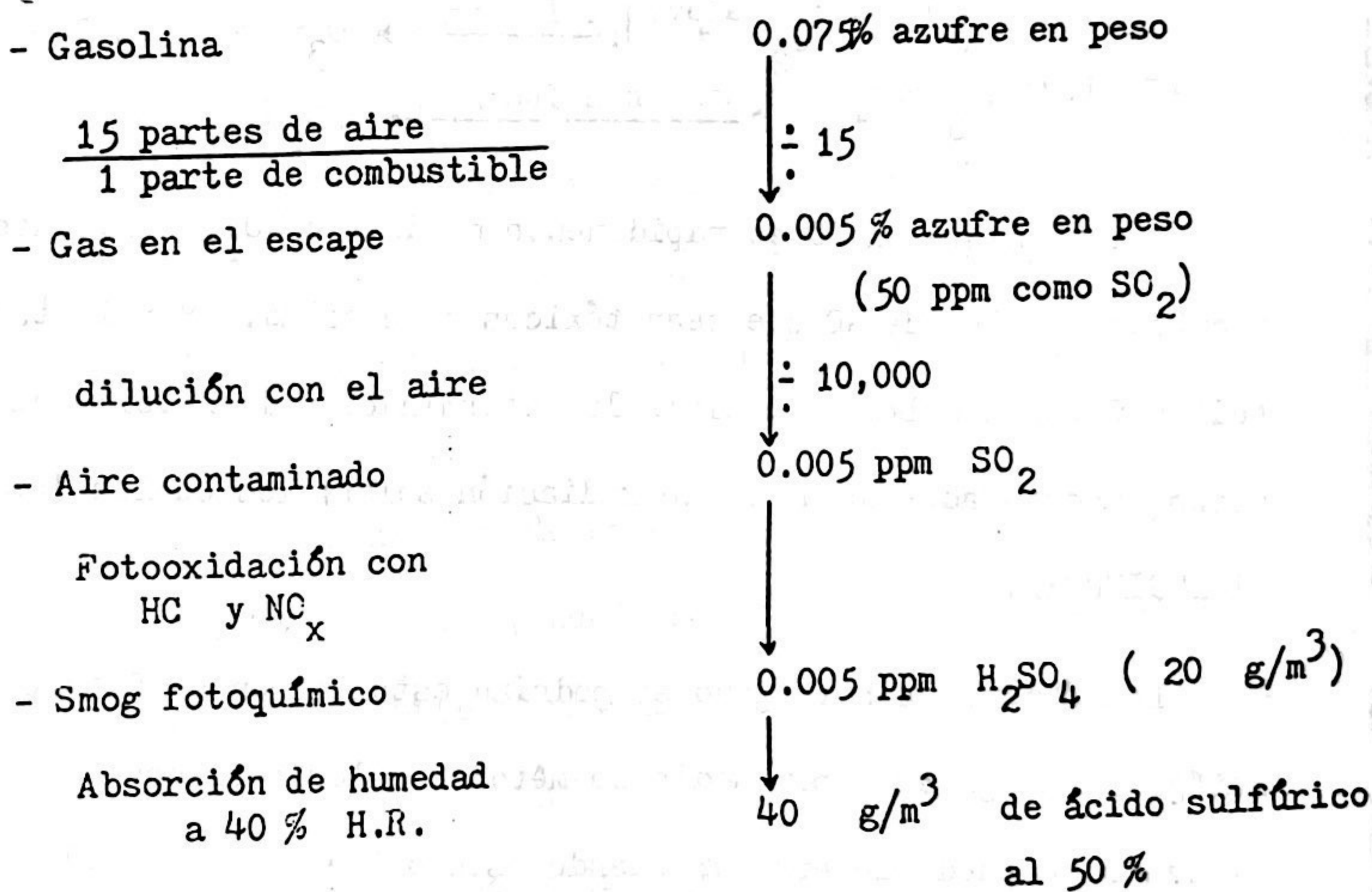
Como se puede apreciar, el modelo matemático anterior es sumamente útil, ya que predice con un porcentaje de error aceptable (promedio=21%) el nivel de plomo en aire. Es muy importante el llegar a postular un buen modelo matemático ya que en base a este se podría aproximar con bastante precisión, los niveles de plomo en el aire; sabiendo el flujo de tráfico y la velocidad del viento.

VII. Posibilidad de Estudios Futuros.

En las emisiones automotrices se encuentran una variedad de substancias que pueden causar efectos tóxicos o molestos; entre ellas podemos citar el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, anhídrido sulfuroso, y como ya se ha mencionado anteriormente, materia particulada y plomo.

La formación de SO₂ a partir de la combustión de la gasolina, se muestra en el siguiente diagrama:

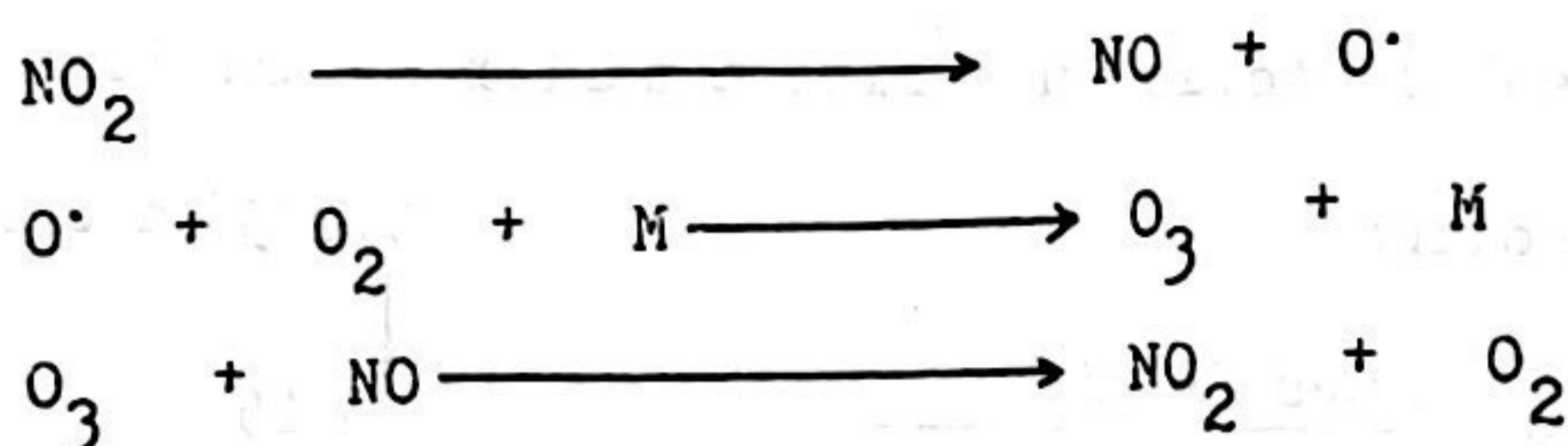
Aerosol de Acido Sulfúrico a partir de Emisiones Automotrices. (68)



Los óxidos de nitrógeno son muy importantes ya que van ligados estrechamente a la química y formación del ozono. El ozono además, se forma por medio de la acción de la luz solar en las partículas provenientes de emisiones automotrices, y de ciertos gases tales como el SO₂ y los óxidos de nitrógeno.

En conclusión, se vé que es sumamente necesario estudiar los niveles de óxidos de nitrógeno y de ozono en nuestra atmósfera, en especial por el alto flujo de tráfico que presenta nuestra capital y por la radiación solar que nos llega durante todo el año; la cual favorece procesos fotoquímicos entre partículas y emisiones gaseosa de origen automotriz.

Tres de las más importantes reacciones que ocurren durante el día y que correlacionan NO_2 , NO , y O_3 son :



Debido a que el NO es rapidamente oxidado a NO_2 , raramente se encuentran niveles de NO que sean tóxicos a la salud. Por lo tanto, estudios futuros deberían incluir la determinación de niveles de NO_2 y de ozono, acompañados de datos de radiación solar; los cuales los provee el INSIVUMEH.

Los óxidos de nitrógeno se podrían estudiar en el futuro con cromatógrafo de gases o por medio de métodos colorimétricos. El ozono se puede determinar cuando este oxida I^- a I_2 , el cual se determina luego colorimetricamente a 352 nm (69). Tambien se puede medir por medio de métodos químico-luminescentes, los cuales miden la intensidad de la luz emitida en determinada reacción química.

Un contaminante atmosférico que está directamente relacionado con el plomo, es el monóxido de carbono. Esto se debe a que ambos provienen en su mayoría de las emisiones automotrices. El CO proveniente de emisiones automotrices, representa aproximadamente el 58 % de toda la

producción antropogénica(69); mientras que el plomo de origen antropogénico representa el 98% de las emisiones totales de este metal hacia la atmósfera. (58)

La concentración de CO en las ciudades es muy variable y depende en especial del lugar con respecto a las fuentes. Se puede observar en la mayoría de los casos, un patrón de niveles de CO que se correlaciona proporcionalmente con el flujo de tráfico durante las horas del día. Los niveles de CO típicos en ciudades de EEUU, oscilan entre 1-20 ppm. (69)

Es muy importante conocer los niveles de CO en nuestro ambiente ya que es dañino para los animales de sangre caliente, incluyendo al hombre. La base de estos efectos, es la reacción del CO con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina. El resultado de esta reacción es la reducción de la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, desembocando así el envenenamiento por CO, en asfixia. Pero existen sin embargo efectos a niveles de envenenamiento bajos. Exposiciones a largo plazo a 100 ppm de CO, puede resultar en cambios cardiovasculares, cambios de la habilidad visual, cambios de comportamiento, etc. (69) Niveles más bajos que 100 ppm, pueden llegar a causar daños, pero su prueba estadística no se ha logrado.

El método más ampliamente usado para el análisis de CO es la Espectrofotometría Infrarroja, ya que este gas tiene bandas sumamente características. Ajustando el instrumento con un gas de contenido de CO igual a cero y luego con standards de concentración conocida de CO, se puede analizar fácilmente cualquier muestra.

Para tener una idea de la contribución de contaminantes en la atmósfera a partir de las emisiones automotrices, se llevó a cabo en Los Angeles (1973) un inventario de emisiones totales en tons/día.(57)

-Vehículos de gasolina:	690	hidrocarburos reactivos
	775	óxidos de nitrógeno
	40	partículas
	30	dióxido de azufre
	7090	monóxido de carbono.

Las fuentes de concentración de contaminantes en las partículas en suspensión son las siguientes: (57)

-Emisiones Automotrices=	40.3 %	compuestos de carbón
	6.8 %	Cl
	0.4 %	Fe
	7.9 %	Br
	40 %	Pb
-Polvo de suelos=	20 %	Si
	8.2 %	Al
	3.2 %	Fe
	1.5 %	K,Ca

Concentraciones de elementos contaminantes en el aire no definen por sí mismas que tan grave es el problema de la polución, o que tan dañino es para la salud pública. Hay necesidad de formular modelos de transporte de contaminantes, estudiar fenómenos de limpieza por viento, profundizar en el campo de las emisiones automotrices transformadas por radiación solar, etc. Así se logrará tener una base estimativa del balance de materiales contaminantes en el valle de Guatemala.

VIII. RECOMENDACIONES.

-Al llevar a cabo el análisis de plomo en gasolina, las muestras se deben analizar lo antes posible ya que evaporaciones conjuntas de gasolina y TEL, resultarían en datos erróneos difíciles de explicar .

-Debido a que el iso-octano es caro en comparación con la gasolina blanca, es perfectamente elegible el uso de esta como blanco en el análisis de gasolinas. La gasolina blanca demostró contenidos de plomo inferiores al límite de detección (0.7 ppm) ya que no fué detectable.

-Sería de mucha utilidad el conseguir información directa a partir de las refinerías en cuanto a la cantidad de aditivos usados en ambos tipos de gasolina, para poder corroborar directamente con resultados propios.

-Para disminuir la cantidad de plomo en gasolina y por lo tanto de plomo en aire, se recomienda el uso de combustibles mezclados tales como el gasohol (gasolina y alcohol), diesel, uso de combustibles que contengan aditivos no de plomo (otros aditivos p.ej. aminas aromáticas), aumentar el octanaje de la gasolina no con aditivos sino con más pasos de refinamiento.

-La condición del vehículo y el modo de manejar, se correlacionan con la cantidad de plomo expelida a la atmósfera.(64) Se han hecho estudios que a velocidades media, la fracción de plomo expelida a la atmósfera varía entre el 14-54% de todo el plomo que entra; en aceleraciones altas, cantidades grandes de plomo se incorporan a las emisiones a partir del sistema de escape, y así se obtuvieron valores de Pb emitido del 200%. También se encontró que automóviles con sistemas de escape nuevos, disminuían su emisión de plomo, pero aumentaba con uso de este.

Después de que un auto acumula 12,000 millas de viaje, 30 % del plomo que entra es retenido en el filtro de aceite, aceite, y sistema de escape; el 54% se expelle a la atmósfera. (64) El 16 % restante se cree que se pierde durante el manejo de filtros y sistema de escape.

Después de acumulaciones de 20,000-33,000 millas, se encontró que el porcentaje de emisión sube a un 89%.

A partir de los datos anteriores se vé la necesidad de mantener el carro en buenas condiciones, y cambiarle sistema de escape y filtros cada cierto tiempo.

-Se recomienda realizar muestreos de polvo sedimentable con técnicas de aspiración o por deposición de polvo en determinada área. Estos datos serían más indicativos que los datos de plomo en tierra de calles, los cuales pueden variar por paso de barrenderos, época de lluvias que lavan y disuelven los contaminantes, etc.

-Se deberá muestrear varias veces en una misma localidad, para tener una idea más representativa de los niveles de plomo y hierro en tierra.

-Es necesario realizar un estudio de los niveles de fondo que se encuentran típicamente en tierras de Guatemala en cuanto a plomo y hierro.

Así se obtendrá un dato más preciso de la contribución natural de estos contaminantes en la atmósfera y el polvo.

-Como el metal Fe no fué muy útil en determinar contaminación de origen industrial o natural, se recomienda en futuros trabajos utilizar el Manganeso el cual determina contaminación de materia proveniente del suelo. El Fe además de provenir en pequeñas cantidades de los autos, varió de acuerdo a estos quizás porque al viajar, las ruedas levantan polvo de las calles; el cual tiene contenido de hierro alto.

-Porcentajes de fuentes de concentración de partículas en aerosoles(57)

Suelo	3.2 %	de Fe	0.02 %	de Pb	0.11 %	de Mn
Emisiones de autos	0.4 %	de Fe	40	% de Pb	-----	

El Mn no proviene de las emisiones automotrices por lo cual sería un buen elemento en cuanto a estudiar contaminación de materia de origen de suelos, en el aire.

-En cuanto al total de plomo encontrado en la atmósfera, se ha verificado (50) que un 5% se encuentra en fase orgánica (vapores), y un 95% en forma de partículas. Por lo tanto, para lograr muestrear en su totalidad todo el plomo existente en el aire, se recomienda hacer burbujear el aire (después de pasarlo por el filtro) en una solución de HNO_3 concentrado y luego analizar esta solución por medio de AA. Esta solución antes de analizarse se debería llevar casi a evaporación y luego diluirse a cierto volumen con agua destilada.

-En subsecuentes muestreos se recomienda usar filtros nucleoporos de 0.8 μm los cuales poseen eficiencia de recolección del 100 % para partículas en el rango de 0.1-1 micra. (Rango de partículas de plomo.)

-Si se vuelve a medir hierro en aire, tratar de encontrar filtros que no tengan hierro así no habrá necesidad de hacer correcciones. En los filtros nucleoporos se encontró aproximadamente $1.25 \pm .25 \mu\text{g}$ de Fe/filtro. Los niveles de plomo en filtros se encontraron por debajo de los límites de detección por lo que son altamente recomendables en este tipo de muestreo y análisis.

-En el presente estudio, los filtros utilizados en el muestreo de aire, se procesaron y se llevó la solución a un volumen final de 10 ml. Se recomienda en estudios futuros, tratar de que este volumen final sea

de 5 ml, así se aumentaría la relación entre señal del aparato y ruido; obteniéndose mayor precisión en las mediciones.

-El problema que presentaron los filtros nucleoporo en el presente trabajo, fue que fueron atacados por el HNO_3 concentrado en caliente, esta acción no disolvió al filtro pero sí lo rompió obteniéndose así en la solución final pedacitos pequeños de este. Al analizar esta solución por medio de AA, los pedacitos algunas veces taparon el capilar y por lo tanto se perdió tiempo limpiándolo o cambiándolo. Se recomienda entonces filtrar la solución, o simplemente dejar que los pequeños pedacitos se sedimenten en el fondo. Habría que buscar un filtro que tuviera las mismas características del nucleoporo pero que fuera totalmente inerte al HNO_3 caliente. Otra solución sería el agregar un solvente que disolviera el filtro y que a la vez fuera miscible con agua. Esto sería muy recomendable ya que tendríamos la seguridad de que todo el plomo del filtro pasaría a solución. Los filtros nucleoporo son solubles en cloroformo, pero este no es miscible con agua, habría que probar p.ej. con acetona.

-Se recomienda en futuros estudios medir la velocidad del viento con un anemómetro bastante preciso ya que se ha visto la dependencia grande de los niveles de contaminantes con respecto al viento, además se debe anotar la dirección de este.

-En el presente estudio se tomaron medidas de viento, HR, Temperatura, al comienzo de cada muestreo. Se recomienda tomar estas medidas también al final de cada muestreo con el objeto de obtener un promedio de las condiciones meteorológicas predominantes a través del tiempo de muestreo.

-Como se vé, el presente estudio es mas o menos un sondeo de la concentración de plomo en aire en los meses de febrero y marzo. Para que estos datos sean realmente valiosos se deberían estudiar en un contexto de relación con los restantes meses del año. Por lo tanto, se recomienda en estudios futuros tratar de muestrear los contaminantes quizás no con relación a las diferentes horas del día, sino llevar a cabo muestreos de promediación de 24 horas, durante todos los días del año. Esto se lograría con la instalación de estaciones fijas en puntos claves de la ciudad, en lugares de mayor flujo de tráfico, a la entrada y salida del valle, etc. Con estos datos se podrían formular modelos matemáticos de transporte de contaminantes por vientos y lograr así una idea de la movilización de estos dentro de nuestra atmósfera.

-Al realizar estos estudios durante 24 horas, se podrían utilizar bombas de vacío de capacidades pequeñas, p.ej. 10-25l/minuto.

Si se volviera a repetir un estudio de contaminantes durante ciertas horas del día, se recomienda usar una bomba de vacío de 100 litros/min, ya que al recolectarse más materia, la precisión del análisis aumentaría. En el presente estudio se usó una bomba de 50 litros/min y en ciertas ocasiones se dejó por períodos de tiempo largos (2-4horas) para que recolectara cantidades de materia analizable. Además se vé la ventaja de que si se posee una bomba de capacidad de flujo alta, se podrían muestrear varias localidades en un mismo día. Esto sería interesante ya que se podrían estudiar varias localidades bajo condiciones climatológicas muy similares.

IX. APENDICES: Contenido:

IX.1. Análisis de plomo por medio de Absorción Atómica.

IX.2. Calibración del medidor de flujo.

IX.3. Cálculo de la eficiencia de recolección de filtro
Nucleoporo de 5 μm .

IX.4. Soluciones Standard y Curvas de Calibración.

IX.5. Análisis estadístico, test t.

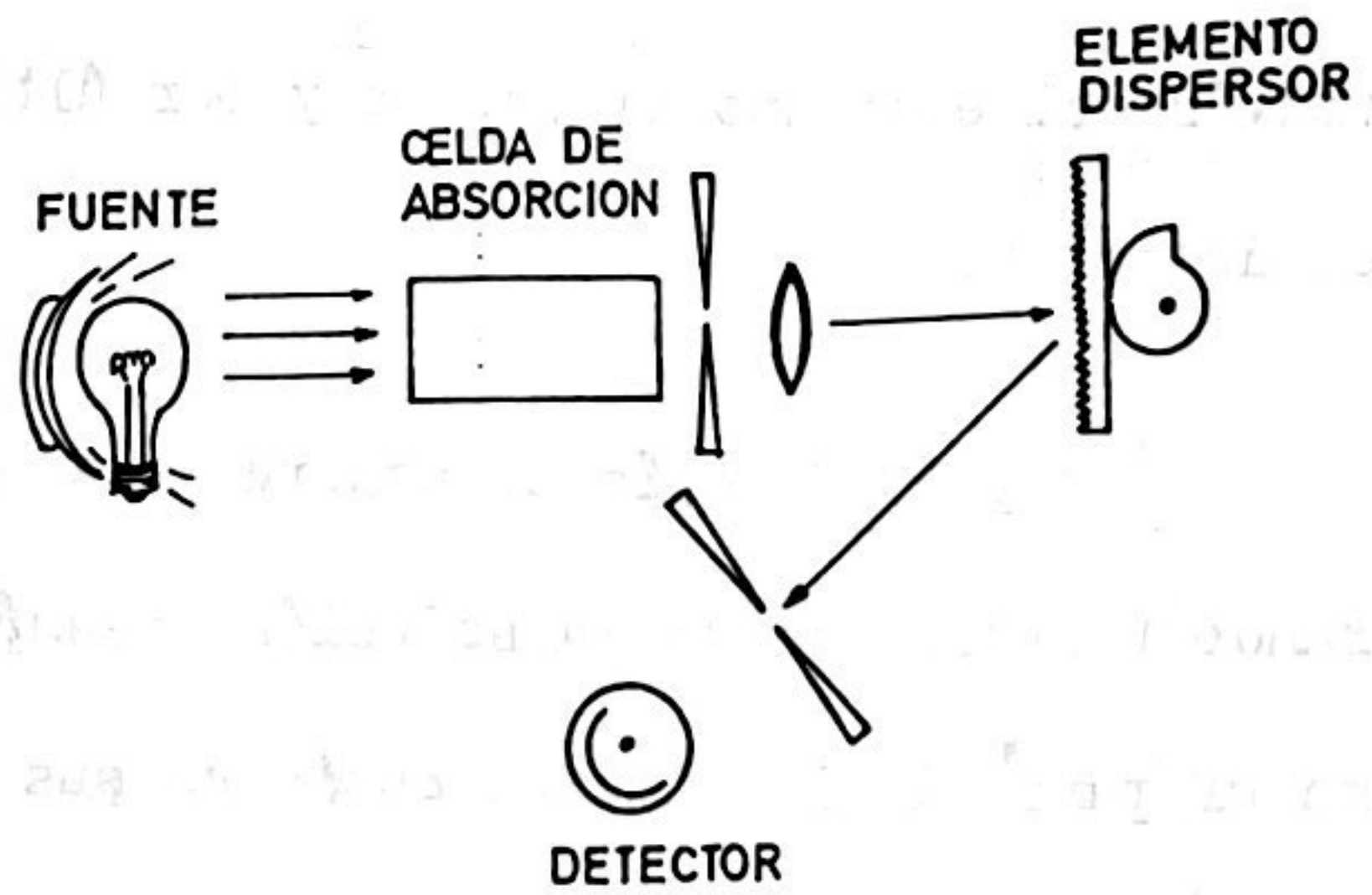
IX APÉNDICE IX.1. Análisis de plomo por medio de Absorción Atómica.

La espectroscopía de Absorción Atómica fué introducida por Walsh (38) en 1955 y se ha convertido en la técnica más ampliamente usada para medir especies metálicas contaminantes en la atmósfera.

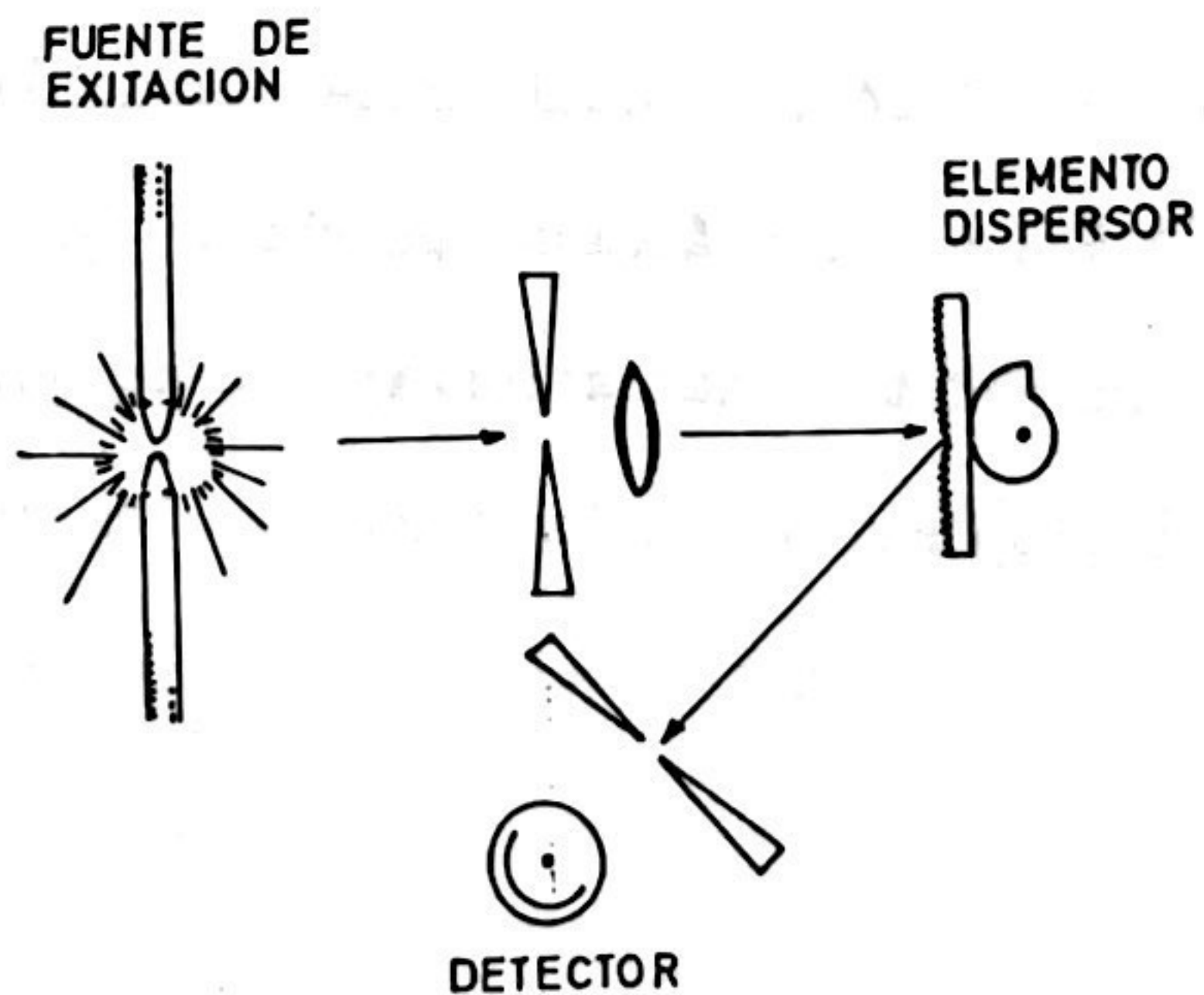
Métodos espectrométricos de análisis hacen uso de los diferentes niveles de energía de las moléculas y de la emisión o absorción de radiación que es acompañada por cambios de una molécula de un nivel de energía a otro. Hay dos tipos de experimentos espectroscópicos usados en química analítica: (69)

a) Espectrometría de Absorción

FIGURA # 17



b) Espectrometría de Emisión



En un experimento de absorción, radiación de la fuente pasa a través de la muestra donde parte de la energía es absorbida. El resto de la luz es descompuesta en sus frecuencias constituyentes, por medio de un elemento dispersor (rejilla o prisma) y luego pasa a un detector. Se hace por último una comparación entre la cantidad de luz que llega al detector cuando hay muestra presente y cuando no está presente. Así, se obtiene una información acerca de cuanta luz absorbe la muestra a una determinada longitud de onda.

En un experimento de emisión, una fuente de excitación, lleva a la molécula a un estado de energía más alto, excitado. Las moléculas de este modo emiten radiación (luz) cuando pierden energía y caen de estados excitados a niveles de menor energía. La luz emitida se pasa a través del elemento dispersor y por último su intensidad es medida por el detector.

En espectroscopía de absorción atómica se producen átomos aspirando una muestra de la solución de análisis, dentro de la llama. La mayor parte de los átomos están en sus estados electrónicos fundamentales ya que se emplean temperaturas entre los 2000 y 3000 °C. La fuente de radiación suele ser una lámpara de cátodo al vacío para el elemento de interés, la cual emite radiación a las mismas longitudes de onda a las que los átomos absorben. La absorción de la radiación por la llama a determinadas longitudes de onda (entre 200-800 nm) es una medida proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

Debido a que los átomos no poseen grados de libertad vibracional y rotacional, absorben en intervalos de longitud de onda muy pequeños y, como resultado, no se obtienen interferencias de otras sustancias, como sucede en los espectros moleculares.

Las muestras generalmente se preparan en forma de soluciones acuosas para este método. Los límites de detección dependiendo del instrumento y del elemento, varían de 0.001 ppm-100ppm (ppm= microgramos de sustancia/ ml. de solución). Los volúmenes de muestra necesarios para éste método son generalmente 1-10 ml/minuto. El método de absorción atómica se ha aplicado en especial al análisis de elementos metálicos. Para alta sensibilidad, el análisis de cada elemento se efectúa con una lámpara diferente, aunque pueden usarse también lámparas especiales de multielementos. Para controlar la llama se usan diferentes combinaciones de oxidante-combustible dependiendo de la facilidad con que un cierto elemento es volatilizado e ionizado. Aunque generalmente los análisis con el espectrofotómetro de absorción atómica se han llevado a cabo con soluciones, existen métodos para reducir y vaporizar iones metálicos en partículas para luego medir la absorción directamente. Por ejemplo, en el método de horno de grafito (28), se hace pasar aire a través de barras de carbón calentadas por un generador de radiofrecuencias. Los compuestos son reducidos a átomos por el monóxido de carbono. Los átomos se pasan luego a una celda caliente desde donde se determina directamente la absorción, y por lo tanto la concentración del elemento. La sensibilidad de este método para el plomo y para el hierro se puede observar en el siguiente cuadro:

CUADRO 42.

Límites de detección típicos para Absorción Atómica y Emisión de llama.(69)

Elemento	Absorción Atómica ppm	Emisión de llama. ppm
Pb	0.03	0.3
Fe	0.005	0.01

A continuación se presentan los cálculos hechos en la determinación del límite de detección para plomo del aparato Perkin-Elmer modelo 305-B utilizado en el presente estudio. (71)

-Se hacen soluciones standard de plomo de 5 ppm , 0.2 ppm, 0.1 ppm

Se calibró el aparato con el standard de 5 ppm, en 10 unidades de concentración.

-Se leyeron alternadamente 1-solución blanca 2-standard bajo 3-solución blanca 4- standard alto, 25 veces.

-Promedio de concentraciones de standard bajo menos el promedio de blanco antes y después de lectura = 0.21 unidades de concentración, desviación standard = 0.041 donde 0.21 unidades= .105 ppm

-Promedio de concentraciones de standard alto menos el promedio de blanco antes y después de lectura = 0.403 unidades de concentración, desviación standard = 0.031 donde 0.403 unidades= .2015 ppm

$$L.D. = \frac{\text{standard bajo o alto} \times 2}{\text{promedio}} \text{ (desviación standard)}$$

$$L.D. \text{ Total} + \frac{L.D. \text{ bajo} + L.D. \text{ alto}}{2}$$

$$L.D. \text{ Standard bajo} = \frac{.1 \times 2 (.041)}{.105} = .078$$

$$L.D. \text{ Standard alto} = \frac{.2 \times 2 (.031)}{.2015} =$$

$$L.D. \text{ TOTAL} = .07 \text{ ppm}$$

Las condiciones de trabajo para el análisis de plomo y hierro con el espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer, 305-B se resumen en el cuadro # 43.

CUADRO 43.

Parámetros	PLOMO	HIERRO
Longitud de onda	282.75 nm UV.	247.6 nm UV.
Tamaño de rejilla (apertura)	# 4= 0.7 nm	# 3= 0.2 nm
Fuente de luz	lámpara de Pb cátodo al vacío 10 m.a. C.C.	lámpara de Fe cátodo al vacío 30 m.a. C.C.
Tipo de llama	aire acetileno oxidante azul	aire acetileno oxidante azul
Presión de aire	30	30
Flujo de aire	9	9.5
Presión acetileno	8	8
Flujo acetileno	8	7.5
Ganancia(Gain)	5 ± 0.2	6 ± .05
Señal(Signal)	T.C. 2	T.C. 2
Sensibilidad teórica	0.5 g/ ml = 1% de absorbancia Std.=20 g/ ml dá 0.18 u.a.	0.12 g/ml = 1% de absorbancia Std. = 5 g/ml dá 0.18 u.a.
Sensibilidad experimental	Std. = 20 g/ml dá 0.15 u.a.	Std = 5 g/ml dá 0.12 u.a.

APENDICE IX.2. Calibración del medidor de flujo.

-Se le midió exactamente el volumen a un garrafón de vidrio de aproximadamente 5 galones. El resultado fué 19768.4 ± 6.2 ml. El volumen se midió con balones aforados de $1000 \pm .3$ ml , de $500 \pm .2$ ml y en la última parte del garrafón, se pesó el agua necesaria para llenarlo totalmente.

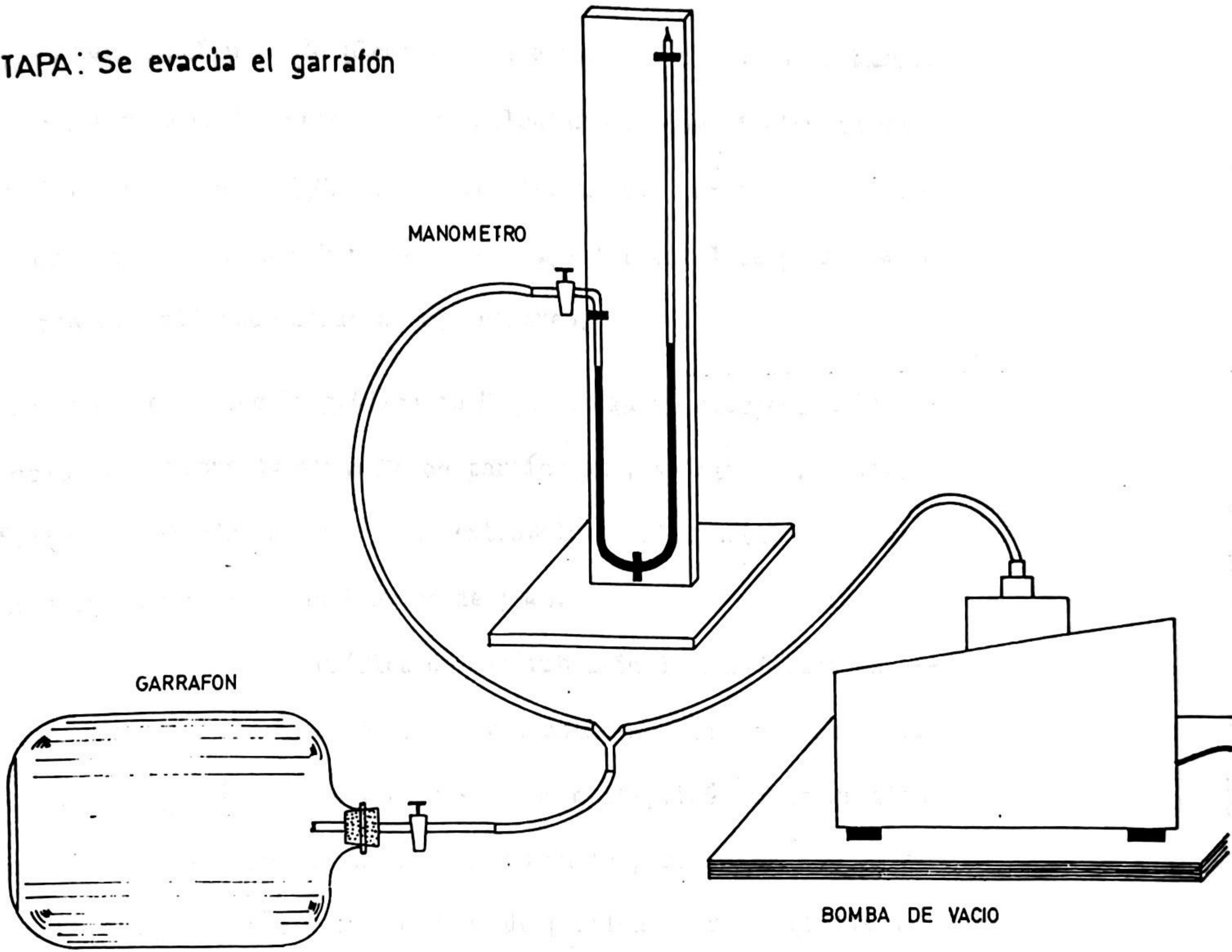
- Por medio de una bomba de vacío (ver figura # 18), se le succionó el aire al garrafón hasta lograr el mejor vacío posible. Se midió con un manómetro, la diferencia de presión que fué aproximadamente 1 cm Hg.

- Se conectó luego el garrafón al medidor de flujo y se dejó que la presión de adentro del garrafón se equilibrara con la presión atmosférica. Se repitió este proceso varias veces y se obtuvo un promedio de lectura del medidor de flujo = 20.3 ± 0.62 litros (desv.std.)

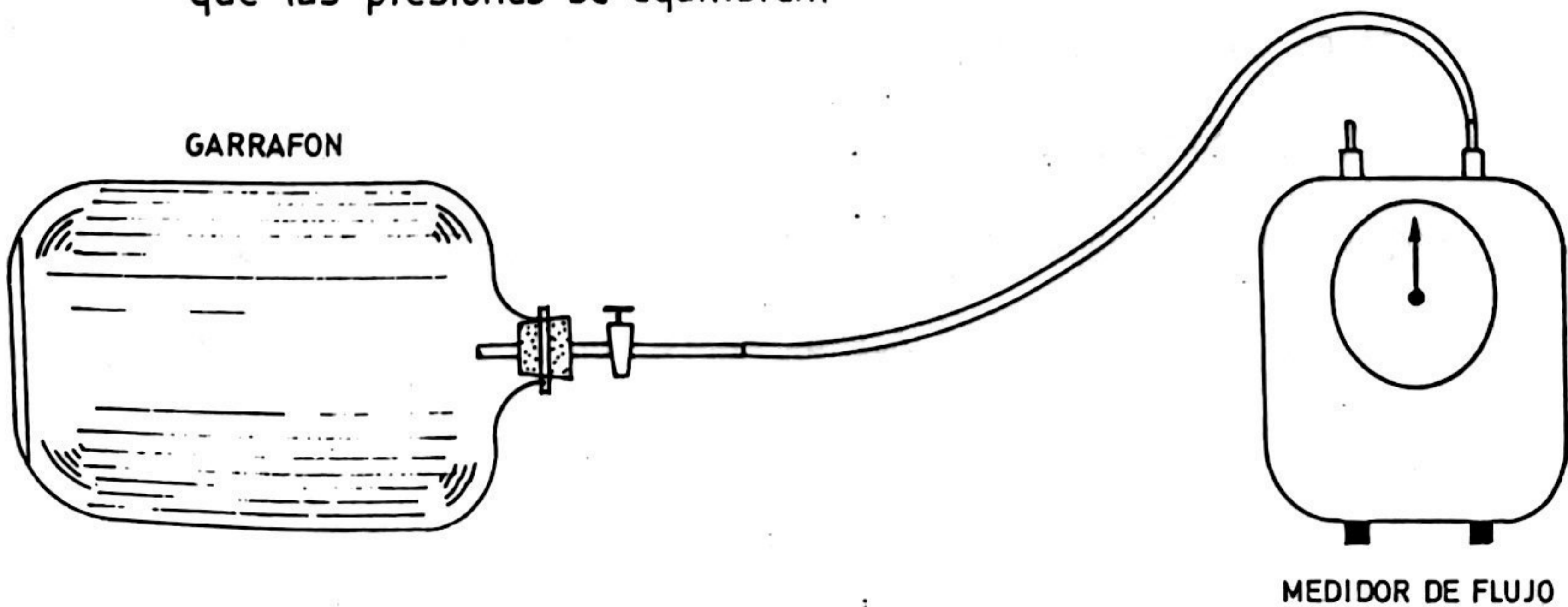
- Usando el test estadístico t para análisis de diferencia de datos, (ver apéndice IX5), se obtiene un valor de $t = .74$ de tal manera que podemos afirmar que (t crítico para $N =$, $p=.05$ es 4.03) las dos medidas de volumen son consistentes. De aquí podemos encontrar un máximo de incertidumbre para la medición del volumen poniéndola igual a la desviación standard de la determinación ; $\lambda_f = 3\%$.

CALIBRACION DEL MEDIDOR DE FLUJO

1a. ETAPA: Se evacúa el garrafón



2a. ETAPA: Se deja entrar aire al garrafón hasta que las presiones se equilibren.





APENDICE IX3. Cálculo de la eficiencia de recolección de filtros

Nucleoporo de $5\mu\text{m}$.

Las partículas de plomo se encuentran en el rango de tamaño menor que 1 micra. Hay necesidad de calcular con que eficiencia un filtro Nucleoporo de $5\mu\text{m}$, puede recolectar las partículas de plomo en este rango; para saber que porcentaje del total de plomo de la atmósfera se está recogiendo en el muestreo.

Tomando como base la gráfica de Dependencia de eficiencia de recolección con respecto al tamaño de partículas y velocidad frontal, (Gráfica encontrada en (72)), se extrapoló la eficiencia de recolección para los filtros nucleoporo de $5\mu\text{m}$.

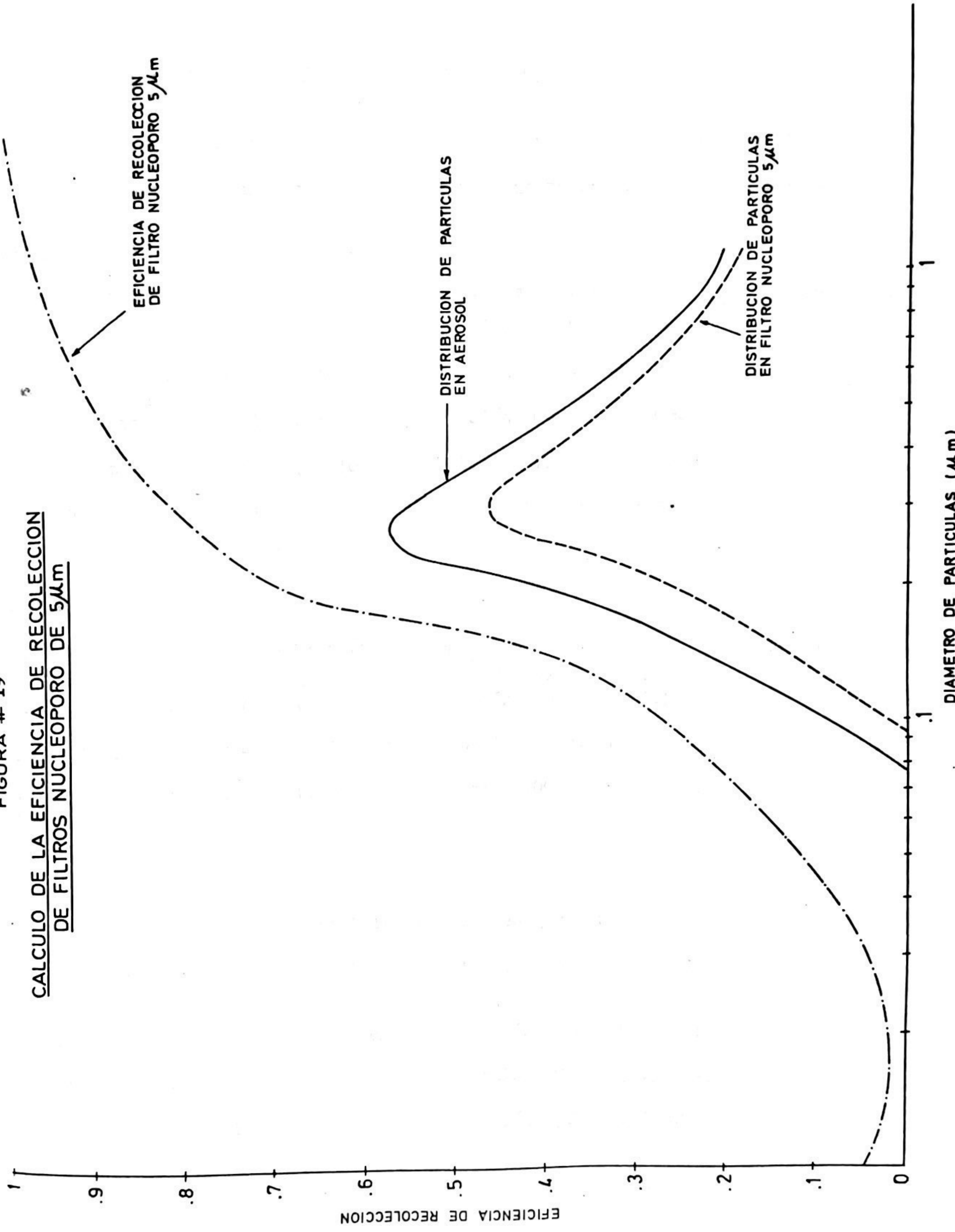
-Teniendo además la gráfica de distribución de partículas en aerosoles (73), en el rango de .1-1 micra donde se encuentra la mayor parte de las partículas de plomo; esta se multiplicó por la gráfica de eficiencia de recolección de filtros nucleoporo de $5\mu\text{m}$. De esta forma se obtuvo la distribución real de partículas recolectadas en los filtros nucleoporo de $5\mu\text{m}$.

-Dividiendo el área de la distribución real de partículas en aerosoles, entre el área de la distribución de partículas recolectadas por el filtro nucleoporo de $5\mu\text{m}$; se obtiene la eficiencia de recolección de los filtros nucleoporo de $5\mu\text{m}$.

-El resultado de este procedimiento gráfico se muestra en la figura # 19 , y es igual a $0.85\% \pm 0.05\%$. Esta incertidumbre se le asigna ya que el método gráfico fue bastante burdo porque no se disponía de gráficas ampliadas a una buena escala.

FIGURA # 19

CALCULO DE LA EFICIENCIA DE RECOLECCION
DE FILTROS NUCLEOPORO DE 5μm



XI.4.B Curvas de calibración.

Curva de calibración para el análisis de plomo en tierra de las calles.

Concentración	Lecturas				
20 ppm	100	100	100	100	100
10 ppm	51	52	51.5	51	50.5
5 ppm	25	26	25	25.5	25
0.2ppm	1	.9	.9	1	1
Resultados:	20 ppm	=	100 ± 0.5		
	10 ppm	=	51.5± 0.6		
	5 ppm	=	25.3± 0.5		
	0.2 ppm	=	0.95± 0.2		

Curva de calibración para el análisis de hierro en tierra de las calles.

Concentración	Lecturas				
10 ppm	100	100	100	100	100
5 ppm	52.5	52.5	53	52	52
2 ppm	21.5	21.5	21	21	21
Resultados:	10 ppm	=	100 ± 0.5		
	5 ppm	=	52.4± 0.5		
	2 ppm	=	21.2± 0.5		

Curva de calibración para el análisis de plomo en gasolina.

Concentración	Lecturas								
26.6 ppm	100	100	100	100	100				
13.3 ppm	52.5	54	52	54	54				
5.32 ppm	23	23	22	22	22.5				
Resultados:	26.6 ppm	=	100 ± 0.5	13.3 ppm	=	53.3 ± 0.98	5.32 ppm	=	22.5 ± 0.5

-Curva de calibración para el análisis de plomo en filtros. (Aire)

Concentración	Lecturas *				
10 ppm	100 (8)	101(3)	99(10)		
5 ppm	50(5)	49.5(5)	49(9)	50.5(1)	48.5(1)
2 ppm	20 (9)	19 (5)	19.5(4)	20.5(2)	21(1)

Resultados: 10 ppm = 99.67 ± 0.73
5 ppm = 49.4 ± 0.51
2 ppm = 19.76 ± 0.56

* En paréntesis= el # de mediciones de cada lectura.

-Curva de calibración para el análisis de hierro en filtros. (Aire)

Concentración	Lecturas *				
10 ppm	100 (10)	99 (10)	101(1)		
4 ppm	41 (11)	40.5(2)	40(1)	41.5(4)	42 (2)
2 ppm	20 (7)	20.5 (5)	21(3)	19 (2)	19.5(3)

Resultados: 10 ppm = 99.57 ± 0.60
4 ppm = 41.17 ± 0.56
2 ppm = 20.17 ± 0.66

*En paréntesis, el # de mediciones de cada lectura.

APENDICE IX.5. Análisis estadístico, test t. (52)

Análisis de comparación de datos.

-Para comparar dos pares de datos (X_1, X_2), conociendo sus desviaciones standard (S_1, S_2), y el número de mediciones realizadas de cada dato (N_1, N_2); se utiliza la siguiente fórmula para encontrar el valor de t:

$$t = \frac{X_1 - X_2 \quad (N_1 N_2)^{1/2}}{\left(\left((N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2 \right) / (N_1 + N_2 - 2) \right)^{1/2} (N_1 + N_2)^{1/2}}$$

el valor de t es comparado luego con los valores críticos de la tabla # 1 .(Shoemaker et.al.(52)); para $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad.

Si el valor de t calculado excede el valor de t de la tabla, esto implicará que la diferencia entre los dos datos es significativa a ese nivel de probabilidad.

En general, para $N_1 = N_2$

tenemos que

$$t = \frac{X_1 - X_2 \quad (N)^{1/2}}{(S_1^2 + S_2^2)^{1/2}}$$

X. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Moriber,G. (1974) 'Environmental Science'. Allyn & Bacon Inc. p73,80,81,113.
- 2.- Mc.Jumkin,F.E. (1976) 'Air Quality Management,Reading References'. University of Carolina. Vol 3 p.6.
- 3.- Nriagu,J.O. (1979) Science News . Vol 116 p.2.
- 4.- Turk,A.,Turk,J.,Wittes,J. (1973) 'Ecología-Contaminación-Medio Ambiente'. Ed.Interamericana. México. p.96,100,101.
- 5.-*Taylor,O.C. (1972) 'Acute responses of plants to Aerial Pollutants'.
*Citado en Naegele,J.A.(1973) 'Air Pollution Damage to Vegetation'.
American Chemical Society. Washington.D.C. p.10.
- 6.- Carlson,R.W.,Bazzaz,F.A.,Stukel,J.J. (1976) 'Physiological Effects, Wind Reentrainment, and Rainwash of Pb Aerosol Particulate Deposited on Plant Leaves'. Environ.Sci.Technol. Vol.10 #12 p.1139-1141.
- 7.- Koslow,EE.,Smith,W.H.,Staskawicz,B.J. (1977) 'Lead Containing Particles on Urban Leaf Surfaces'. Environ.Sci.Technol. vol.11 # 10 p.1019-1020.
- 8.- Motto,H.L. (1970) 'Lead in Soils and Plants: Its relationship to traffic volume and proximity to Highways'. Environ.Sci.Technol. Vol.4 p.231.
- 9.- Page,A.L.,Gauje,T.J. (1970) 'Accumulations of Lead in Soils for regions of High traffic and Low motor Vehicle density'. Environ.Sci.Technol. Vol.4 p.1490.
- 10.-Gish,C.D.,Christenses,R.E. (1973) 'Cadmium,Nickel,Lead, and Zinc in earth-worms from Roadside Soil'. Environ.Sci.Technol.vol 7 # 11 p.1060-1062.
- 11.-Robbins,L.S. (1975) 'Patología Estructural y Funcional'. Ed. Interamericana. México. p 508-510.
- 12.-Stern,A.C. (1977) 'Air Pollution, Air Quality Management'. Academic Press. N.Y. 3 ed. Vol.V. p.459,462-485,451,521.
- 13.-*Kreith,F.(1970) 'Air Pollution Control of Particulate Matter'.
*Citado en Brittin,E.W.,West,R.,Williams,R. EDITOR (1972) 'Air and Water Pollution'. Colorado Associated University Press. p426.
- 14.-Williams,J.O. (1974) 'New Concepts in Air Pollution Research'. John Willey & Sons. N.Y. p.20.
- 15.-Paciga,J.J. & Jervis,R.E. (1976) 'Multielement Size Characterization of Urban Aerosols'. Environ Sci.Technol. vol.10 #12 p.1124-1126
- 16.-Davison,R.L., Natusch,F.D.,Wallace,J.R. (1974) 'Trace elements in Fly ash. Dependence of concentration on Particle Size'. Environ Sci.Technol. Vol 8 #13 p.1107-1109.
- 17.-Desaedeleer,G.G. & Winchester,J.W. (1975) 'Trace metal analysis of Atmospheric Aerosol Particle Size. Fractions in Exhaled Human Breath'.

Environ.Sci.Technol. Vol.9 # 10 p.971-972.

- 18.- Macias,E.S.,Husar,R.B. (1976) 'Atmospheric Particulate Mass Measurement with Beta Attenuation Mass Monitor.' Environ.Sci.Technol. Vol.10 #9 p.905
- 19.-Paciga,J.J., Roberts,M.T.,Jervis,R.E. (1975) 'Particle Size Distribution of Lead,Bromine and Chlorine in Urban-Industrial Aerosols.' Environ.Sci.Technol. Vol 9 #13 p.1141.
- 20.-*Buell,G.C. (1965) 'Potential Crosslinking Agents in lung tissue'.
*Citado en Frank,R.(1970)'Clean and Dirty Lungs'. OP.CIT. (13) Brittin Editor. p.329.
- 21.-Nelson,A.C., Vaughan,J.L.,Mc.Kay. (1977) 'Tratado de pediatria'. Ed.Salvat. 6 ed. México. p1531.
- 22.-Chisolm,J.J. (1977) 'Lead Poisoning'. Scientific American Vol.224 p.15-20.
- 23.-Malcolm,D. (1966) 'Health and Hygiene in Lead Processes'. Lead Development Association. London. p.21.
- 24.-Kirk,R.E., Othmer,D.F. (1962) 'Enciclopedia de Tecnología Química'. UTEHA. México. Tomo XII. p.768-775.
- 25.-*Wetherill,G.W.,Rabinowitz,M., Kopple,J.D. (1974) 'Proc.Int.Symp.Recent. Advan.Assessment Health Effects Environ. Pollut'.
*Citado en Stern,A. (1977) Air Pollution. Ac.Press.N.Y. 3ed. vol.II p.533
- 26.-Stern,A. (1977) 'Air Pollution'. Ac.Press.N.Y. 3ed. vol. III
- 27.-Kashiki,M.,Yamazoe,S.,Oshima,S. (1971) 'Determination of Lead in gasoline by A A \ Analytical.Chim.Acta. Vol.53 p.95
- 28.-Lech,J.F.,Siemer,D.,Woodriff,R.(1974) 'Determination of Lead in Atmospheric Particulates by Furnace Atomic Absorption'. Environ.Sci.Technol.Vol. 8 # 9 p.840.
- 29.-Biggins,P.D.,Harrison,R.M. (1979) 'Atmospheric Chemistry of Automotive Lead'. Environ.Sci.Technol. Vol.13 #5 p.558-564
- 30.-Boyer,K.W., Laitinen,H.A. (1974) 'Lead Halide Aerosols'. Environ.Sci.Technol. Vol.8 #13 p.1093.
- 31.-Olson,K.W.,Skogerboe,R.K. (1975) 'Identification of Soil Lead Compounds from Automotive Sources'. Environ.Sci.Technol. Vol.9 # 3 p.227-230.
- 32.- Op.Cit.(12) Stern,A. Vol V. p.521
- 33.- VIII Censo de población. (1973) Ciudad capital, Municipio de Guatemala. Serie III, Tomo II. p.5. Dirección General de Estadística.
- 34.-Donley,M. (1973) 'Standard de Calidad Ambiental y Revision Legislativa de la Autoridad Ambiental Ciudad De Guatemala, 1972'. Municipalidad de Guatemala, Universidad de Oregon. p.3-9.

[The page contains extremely faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the paper. The text is too light to transcribe accurately.]

- 35.-Robles,E. (1977) 'Instalación de un Laboratorio de control de la Calidad del aire y la Determinación del índice del mismo.' USAC. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- 36.- Gonzalez,J. (1979) 'Contaminación Aérea de Vehículos Automotores.' Memorandum # 35. Dirección General de Minería e Hidrocarburos.
- 37.- Dirección General de Minería e Hidrocarburos. Consumo de Crudo y derivados.
- 38.-Op.Cit.(26) Stern,A. Vol.III. p.52,56.
- 39.-Cadle,R.D. (1975) 'The Measurement of Airborne Particles.' Willey Interscience. N.Y. p.46-50, 71-72.
- 40.-Pat Report(1974) 'Key to reliable exhaust emissions data.' Environ. Sci.Technol. Vol.8 #9 p.791.
- 41.-Wedberg,G.H., Kwok, C.C., Cohen, L.B. (1974) 'X-Ray Fluorescence Study of Atmospheric Particulates in Pittsburg.' Environ.Sci.Technol. Vol.8 # 13 p.1060-1092.
- 42.-Giauque,R.D.,Goda,L.Y.,Brown,N.E. (1974) 'Characterization of Aerosols in California, by X-Ray Induced X-Ray Fluorescence Analysis.' Environ. Sci,Sci.Technol. Vol.8 #5 p.436-441.
- 43.-Dzubay,T.G., Stevens,R.K. (1975) 'Ambient Air Analysis With Dichotomous Sampler and X-Ray Fluorescence Analysis.' Environ.Sci.Technol. Vol.9 # 7 p.663-667.
- 44.-Scott,D.R.,Hemphill,D.C.,Holboke,L.E., Long,S.J., Loseke,W.A., Pauger, L.J., Thompson,R.J. (1976) 'Atomic Absorption and Optical Emission Analysis of NASN Atmospheric Particulate Samples for Lead.' Environ.Sci.Technol. Vol.10 # 9 p.877-880.
- 45.-Ranweiler,L.E.,Moyers,L.J. (1974) 'Atomic Absorption Procedure for Analysis of Metals in Atmospheric Particulate Matter.' Environ.Sci.Technol. Vol.8 # 2 p.152-156.
- 46.-Ayres,G.H. (1975) 'Análisis Químico Cuantitativo.' Harper & Row Latinoamericana. p. 552-241.
- 47.-Hillebrand,W.F.,Lundell,G.E.,Bright,H.A., Hoffman,J.I. (1953) 'Applied Inorganic Analysis'. John Willey & Sons. N.Y. p231.
- 48.-Op.Cit.(26) Stern,A. Vol.III p.10
- 49.-Solomon,R.L. (1976) 'Lead and Cadmium in Dusts and Soils in a Small Urban Community.' Environ.Sci.Technol. Vol.10 #8 p.773
- 50.-Huntzicker,J.J.,Friedlander,K.S.,Davidson,C.I. (1975) 'Material Balance for Automobile-Emitted Lead in Los Angeles Basin.' Environ.Sci.Technol.Vol.9 # 5 p.448-456.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author details the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual and automated processes. The goal is to ensure that the information is both reliable and up-to-date.

The third part of the report focuses on the results of the analysis. It shows a clear upward trend in the data over the period covered. This is attributed to several key factors, including improved operational efficiency and better market conditions.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future actions. These are based on the findings of the analysis and aim to further optimize the current processes. The author suggests regular reviews and updates to the data collection methods.

- 51.- Kleinman, M.T., Pasternack, B.S., Eisenbud, M., Kneip, T.J. (1980) 'Identifying and Estimating the Relative Importance of Airborne Particulates.' Environ.Sci.Technol. Vol.14 #1 p.62-65.
- 52.- Shoemaker, P.P., Garland, C.W., Steinfeld, J.I. (1974) 'Experiments in Physical Chemistry.' 3.ed. p.33-40.
- 53.- Zimdahl, R.L., Skogerboe, R.K. (1977) 'Behavior of Lead in Soils.' Environ.Sci.Technol. Vol.11 # 13 p.1202.
- 54.- Klein, H.D. (1972) 'Mercury and other Metals in Urban Soils.' Environ.Sci.Technol. Vol.6 # 6 p.560-561.
- 55.- John, M.K. (1971) 'Lead Contamination of Some Agricultural Soils in Western Canada.' Environ.Sci.Technol. Vol. 5 # 12 p.1199-1203.
- 56.- Fassbender, H.W. (1978) 'Química de Suelos con énfasis en Suelos de América Latina.' Editorial.IICA. Costa Rica. p.8,21,58.
- 57.- Friedlander, S.K. (1977) 'Smoke, Dust, and Haze.' John Willey & Sons. p.296,301.
- 58.- Struempfer, A.W. (1975) 'Trace Element Composition in Atmospheric Particulates During 1973-1974 at Chadron Nebraska.' Environ.Sci.Technol.Vol. 9 # 13 p.1064-1068.
- 59.- Morrow, N.L., Brief, R.S. (1971) 'Elemental Composition of Suspended Particulate Matter in Metropolitan N.Y.' Environ.Sci.Technol.Vol.5 # 9 p.786-789.
- 60.- Bonwman, H.R., Conway, J.G., Asaro, F. (1972) 'Atmospheric Lead and Bromine Concentration in Berkeley, California.' Environ.Sci.Technol.vol.6 # 6 p.558-559 .
- 61.- Moyers, J.L., Ranweller, L.E., Hopf, S.B., Korte, N.E. (1977) 'Evaluation of Particulate trace Species in Southwest Desert Atmosphere.' Environ.Sci. Technol. Vol.11 # 8 p.789-795
- 62.- Rhodes, J.R., Pradzynski, A.H., Hunter, C.B. (1972) 'Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Air Particulates in Texas.' Environ.Sci.Technol. Vol.6 # 10 p.922-927.
- 63.- Lee, R.E., Goransos, S.S., Enrione, R.E., Morgan, G.B. (1972) 'National Air Surveillance Cascade Impactor Network.II.' Environ.Sci.Technol. Vol.6 #12 p.1025-1030 .
- 64.- *Hirscher, et.al. *Citado en Op.Cit.(50) p.448.
- 65.- Guyton, C.A. (1971) 'Tratado de Fisiología Médica.' Editorial Interamericana México. p.493.
- 66.- *Bricard, J., Cabane, M., Madelaine, G., Vigla, D. (1971) 'Formation and Properties of Neutral Ultrafine Particles and Small Ions Conditioned By Gaseous Impurities of Air.'

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

- *Citado en. Hidy, G.M. Editor. (1972) 'Aerosols and Atmospheric Chemistry.' Academic Press. N.Y. p.29.
- 67.-*Husar, R.B., Whitby, K.T., Liu, B.Y. (1971) 'Physical Mechanisms Governing The Dynamics of Los Angeles Smog Aerosol.'
*Citado en. Hydi Editor, Op.Cit.(66) p.274.
- 68.*Stephens, E.R., Price, A.M. (1971) 'Comparison of Synthetic and Smog Aerosols.'
*Citado en. Hydi Editor, Op.Cit.(66) p.168.
- 69.-Butcher, S.S., Charlson, R.J. (1972) 'An Introduction to Air Chemistry.' Academic Press. N.Y. p.125, 139, 140, 141.
- 70.-Stong, C.L. (1971) 'Experiments with wind, a pendulum anemometer and Miniature Tornadoes.' Scientific American. Vol.225 # 4 p.791.
- 71.-Perkin Elmer (1973) 'Analytical Methods For Atomic Absorption Spectrophotometry.' Norwalk, Connecticut. p.10-1.
- 72.-Spurny, K.R., Lodge, J.P., Frank, E.R., Sheesley, D.C. (1969) 'Aerosol Filtration by Means of Nucleopore filters Structural and Filtration Properties.' Environ.Sci.Technol. vol.3 # 5 p.453.
- 73.*Liu, B.Y., Lee, K.W. (1977)
*Citado en Catalog Lab.40. Nucleopore Filtration Products for the Laboratory. p 13.

Vo.Bo. 1

(f) Sergio Aragón
Dr. Sergio Aragón.
Asesor.

Tribunal:

(f) _____
Ing. Miguel Angel Canga-Argüelles.

(f) Sergio Aragón
Dr. Sergio Aragón.

(f) Eméj.
Inga. Elvira de Mejía.

Fecha de Aprobación: 24 de Mayo de 1980.

Handwritten notes at the top of the page, including a large number '3' and some illegible text.

Handwritten text on the right side of the page.

Handwritten text in the middle section, possibly a title or heading, with a circled number '2' to its right.

Handwritten text in the lower middle section, appearing to be a list or set of instructions.

Handwritten text in the lower section, possibly a conclusion or final note, with a circled number '2' to its right.

Handwritten text at the bottom of the page.