



CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE VALENCIA COMO FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PTS

LEYDA M. ESCALONA ^(*)

Laboratorio Tecnológico del Ambiente, LabTA, Universidad de Carabobo, Licenciada en Química, Master en Química, Profesora de la Universidad de Carabobo desde 1978 hasta la presente. Actualmente se desempeña como Coordinadora General del Laboratorio Tecnológico del Ambiente. Ha desarrollado numerosos trabajos de investigación en el campo de la contaminación del aire.

JUAN VICENTE GUERRERO ⁽¹⁾

Laboratorio Tecnológico del Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo

JOSÉ MANUEL ACOSTA ⁽²⁾

Laboratorio Tecnológico del Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo

COLMENAREZ VENEZUELA ⁽³⁾

Cerámica Carabobo

COLMENAREZ MARÍA CRISTINA ⁽⁴⁾

Departamento de Química Tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.



DIRECCIÓN^(*): Avenida Universidad, Laboratorio Tecnológico del Ambiente, LabTA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Estado Carabobo. Venezuela. Telefax: 58-41-8676607
e-mail: labtauc@uc.edu.ve -- leyescalon@icnet.com.ve

RESUMEN

Las normas Venezolanas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica, establecen como criterio para clasificar la calidad del aire, el contenido de partículas totales suspendidas, aun cuando se establecen patrones para varios parámetros adicionales.

El objetivo general de esta investigación es determinar la calidad del aire que se respira en la ciudad de Valencia – Venezuela, a fin de correlacionar y estimar efectos en la población y el ambiente. Para ello se instaló una red de monitoreo consistente de ocho estaciones de muestro en sitios diferentes. Esta red se subdividió en dos grupos de cuatro estaciones cada uno, evaluándose en cada grupo en forma simultánea: partículas totales suspendidas y su composición química en cuanto a contenido metálico y compuestos solubles en agua, óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), formaldehído y partículas en función de su tamaño y contenido metálico de cada fracción. En este trabajo se presentan sólo los resultados referentes a partículas totales suspendidas y su contenido de metales y de compuestos solubles en agua.

En ambos grupos de estaciones se captan muestras durante un período aproximado de dos meses en la época seca y dos meses en época de lluvia, utilizando muestreadores de alto volumen con filtros de fibra de vidrio para la captación de la partículas. Los muestreadores se ubican a una altura entre 2 a 8 metros sobre el nivel del suelo y se captan dos o tres muestras semanales durante 24 horas continuas cada una. La concentración de partículas totales suspendidas se determina por el método gravimétrico, la concentración de cloruro y nitrato mediante electrodo selectivos, sulfato por el método turbidimétrico y los metales por espectrofotometría de absorción atómica.

Los resultados demuestran que en todas las zonas evaluadas los niveles más altos tanto de partículas suspendidas como de sus componentes químicos se obtienen en la época seca, debido al efecto lavador de las lluvias y que el patrón establecido en las Normas Venezolanas para PTS no fue superado en ninguna de las ocho zonas. A fin de poder establecer correlaciones entre las concentraciones encontradas, las condiciones meteorológicas y las posibles fuentes emisoras los resultados se discuten por grupos, en las zonas evaluadas simultáneamente.

Palabras Clave: Contaminación atmosférica, calidad del aire, partículas suspendidas.

INTRODUCCION

La calidad del aire depende de las emisiones y de las condiciones atmosféricas. Las emisiones depende del consumo de combustibles, calidad y tipo de combustibles y de las tecnologías de control de emisiones. El consumo de combustibles depende de: las tecnologías de vehículos automotores, tecnologías industriales, de servicios y volúmenes de producción, de la estructura urbana, estructura del transporte urbano y distancia recorrida por vehículos (Ortiz 1997).

Uno de los métodos para determinar la calidad del aire es realizar un inventario de emisiones, en el cual se establezcan una base de datos sobre las diferentes fuentes de emisiones clasificadas de acuerdo al tipo de actividad y a sus emisiones, estas últimas se estiman por medio de factores de emisiones y modelos de dispersión. Sin embargo, el método más confiable para evaluar la calidad del aire es medirla a través de un monitoreo atmosférico, preferiblemente a través de una red de monitoreo.

Se entiende por monitoreo atmosférico (Martínez y Romieu 1997) todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es:

- Determinar la calidad del aire que se respira en la ciudad de Valencia, a fin de establecer correlaciones con sus posibles efectos en la salud de la población.

Para cumplir este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los niveles de partículas totales suspendidas y su contenido de metales y compuestos solubles en agua.
- Correlacionar las concentraciones de partículas suspendidas totales con sus posibles fuentes emisoras.
- Correlacionar las concentraciones de metales y de compuestos solubles en agua presentes en las partículas con sus posibles fuentes emisoras.
- Comparar las concentraciones encontradas con los patrones establecidos en la Normativa Venezolana a fin de correlacionarlas con posibles efectos en la salud.

METODOLOGÍA

Debido a la falta de un inventario de emisiones atmosféricas y de los datos meteorológicos del año 2000, se utilizó un promedio de las direcciones de viento reportadas por la Fuerza Aérea Venezolana, entre los años 1994 a 1999 como criterio para la ubicación de las estaciones de muestreo. De acuerdo a este criterio, se seleccionaron ocho sitios distribuidos en los cuatro puntos cardinales, de forma tal de evaluar zonas de características diferentes en cuanto a sus principales actividades y tomando consideración también algunos datos epidemiológicos suministrados por el Instituto Carabobeño para la Salud, INSALUD.

Debido a escasez de recursos económicos y humanos se dividió la red en dos grupos de cuatro estaciones, evaluándose en cada una de ellas simultáneamente: partículas totales suspendidas y contenido metálico de éstas, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, formaldehído, metales en las partículas totales suspendidas, partículas en función de su tamaño y contenido metálico de cada una de estas fracciones, así como compuestos solubles en agua (nitrato, sulfato y cloruro) presentes en las partículas. En este trabajo se presentan sólo los resultados referentes a partículas totales suspendidas y su composición química en cuanto a compuestos solubles en agua y metales.

El primer grupo de cuatro zonas se evaluó durante el período marzo a agosto del año 2000 y las zonas evaluadas fueron las siguientes: Colegio Don Bosco, al norte de la ciudad; Urbanización Fundación Mendoza al sur, urbanización Los Nísperos al oeste y urbanización La Trigaleña al este de la ciudad. Todas son zonas residenciales de poco o mediano tráfico automotriz.

El segundo grupo de sitios se evaluó durante el período octubre del año 2000 a marzo del 2001, en zonas de mayor tráfico automotriz que las primeras con la siguiente ubicación: Sede de INSALUD al centro de la ciudad, avenida Bolívar al norte, urbanización Isabelica al sur y urbanización Michelena al sur este de la ciudad.

CAPTACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la captación de las muestras se utilizan cuatro muestreadores de alto volumen General Metal Work, equipados con filtros de fibra de vidrio para colectar las partículas durante períodos de veinticuatro (24) horas continuas a un flujo de 1.1 l/min aproximadamente.

Todos los muestreadores se ubican entre 2 a 8 metros sobre el nivel del suelo y se captan dos o tres muestras por semana en cada uno de los cuatro sitios evaluados simultáneamente, durante un período de aproximadamente dos meses en época seca y dos meses en época de lluvia.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

La concentración de partículas se determina por el método gravimétrico siguiendo los requerimientos de la Norma Venezolana COVENIN 2060 (1996).

La concentración de metales se determina por espectrofotometría de absorción atómica con llama, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3100, nitrato y cloruro se determinan mediante electrodos selectivo de iones y sulfato por el método turbidimétrico. Los procedimientos respectivos son los descritos por Lodge (1998)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan las concentraciones de PTS obtenidas en el primer grupo de zonas evaluadas, para las dos épocas meteorológicas.

Tablas 1 : Concentración de PTS en el primer grupo de zonas evaluadas.

MUESTRAS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	EPOCA SECA				EPOCA LLUVIA			
	Norte	Sur	Este	Oeste	Norte	Sur	Este	Oeste
1	86.1	90.7	70.8	90.1	67.4	65.2	60.2	54.8
2	35.8	54.3	64.2	52.8	47.7	55.1	37.7	39.4
3	37.0	73.1	42.9	41.7	59.5	67.8	49.9	52.5
4	38.7	58.7	41.1	39.4	54.9	60.7	89.6	81.8
5	31.6	65.7	36.3	35.0	47.5	70.3	52.6	43.0
6	48.2	45.9	62.9	34.5	26.8	30.3	63.6	64.1
7	30.7	51.5	37.6	34.3	50.3	53.3	37.4	36.5
8	46.4	56.4	49.2	43.9	36.2	47.1	28.7	227.5
9	36.9	73.0	50.9	31.8	38.5	50.4	41.5	47.6
10	64.8	98.3	63.5	18.9	41.0	58.8	31.3	33.2
11	113.9	61.6	128.2	66.7	44.9	46.1	45.2	42.5
12	48.2	76.4	45.4	129.1	23.2	35.0	20.4	21.1
13	50.6	69.8	47.1	46.6	58.4	68.9	41.3	44.0
14	55.4	57.4	44.7	55.4	27.1	33.8	19.1	21.7
15	59.4	89.3	44.1	55.4	46.8	62.6	22.4	20.6
16	83.6	76.3	74.6	70.5	52.4	57.6	36.2	40.0
17	53.0	63.8	53.1	60.9	51.9	64.1	39.0	41.2
18	37.0	52.5	35.6	51.6	36.7	37.2	47.3	42.7
19	41.4	n.c.	45.3	42.8	n.c	n.c	28.0	33.9

Se observa en esta tabla que en cada una de las zonas se obtienen valores de concentración muy variables.

En general las concentraciones obtenidas en época de lluvia son inferiores a las obtenidas en época seca en todas las zonas, debido al efecto lavador de las lluvias.

En el gráfico 1, se representan los promedios aritméticos, por época meteorológica para cada una de las cuatro zonas, así como el promedio anual, obtenido promediando en cada zona las concentraciones de las dos épocas .

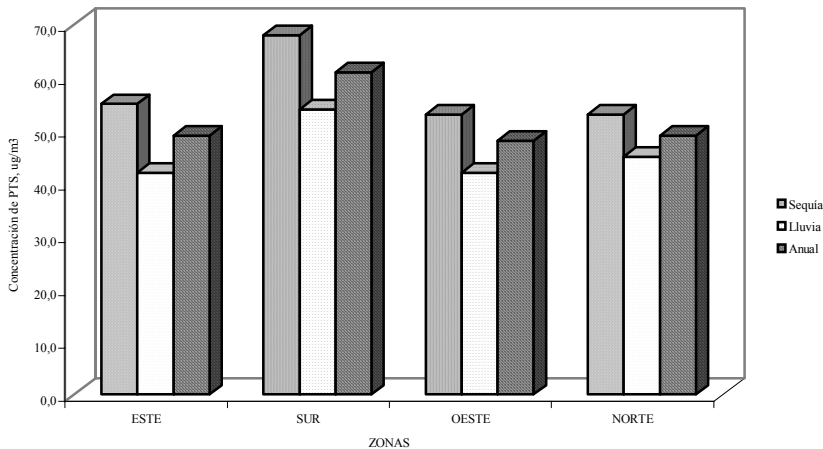


Figura 1: Promedio de las concentraciones de partículas totales suspendidas en el primer grupo de zonas evaluadas

Aunque el promedio más alto se obtuvo en la zona sur, en general no se observan grandes diferencias, en las concentraciones obtenidas en las cuatro zonas para una misma época meteorológica. La concentración promedio anual, en todas las zonas es menor que $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es el límite establecido en las Normas Venezolanas (Decreto 638,1995) como patrón máximo permitidos de PTS, para definir áreas de aire limpio.

Tablas 2 : Concentraciones de PTS en el segundo grupo de zonas evaluadas.

MUESTRAS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	EPOCA SECA				EPOCA LLUVIA			
	Norte	Sur	Centro	Sureste	Norte	Sur	Centro	Sureste
1	91,84	51,44	102,06	51,44	74,6	11,3	57,3	85,9
2	77,32	93,9	40,42	93,9	42,5	44,4	30,0	30,7
3	68,02	74,13	143,02	74,13	57,9	71,7	61,2	56,3
4	50,14	60,49	48,71	60,49	54,0	58,0	27,3	31,8
5	102,21	79,89	81,69	79,89	30,2	42,2	15,6	21,2
6	76,51	85,66	49,33	85,66	39,8	40,6	25,5	30,6
7	78,54	77,49	64,77	77,49	31,6	52,3	31,4	26,3
8	46,97	66,53	55,2	66,53	40,8	67,7	26,4	26,9
9	55,69	72,93	66,58	72,93	37,9	59,8	32,1	39,7
10	53,98	60,76	13,99	60,76	38,7	50,5	30,9	33,4
11	98,83	98,13	74,26	98,13	66,4	76,1	48,3	47,1
12	66,99	75,58	60,58	75,58	44,6	50,0	58,5	39,1
13	52,11	59,26	47,95	59,26	60,1	76,8	53,8	65,6
14	49,79	69,23	47,79	69,23	64,9	75,6	58,5	63,2
15	66,24	47,44	63,13	47,44	76,7	77,4	58,1	66,2
16	87,35	110,34	97,77	110,34	71,2	83,6	69,1	73,0
17	128,5	141,28	126,26	141,28	58,2	90,4	50,9	58,1
18	230,39	114,22	133,43	114,22	62,9	77,0	113,7	61,1
19	93,42	98,75	97,75	98,75	57,3	82,1	50,7	63,7

En la tabla 2, se muestran las concentraciones de PTS obtenidas para el segundo grupo de zonas evaluadas durante los períodos seco y de lluvia.

También en este grupo de zonas, las concentraciones obtenidas en época seca son mayores que las de época de lluvia y en todas las zonas se observa alta dispersión en las concentraciones. En estas zonas las concentraciones de PTS, son mayores en general que las obtenidas en el primer grupo, debido a que se trata de zonas con alto flujo automotor como las del centro y la del norte ó cercanos a centros industriales como las del sur y la del sur este.

En este grupo la concentración de PTS, en las zonas norte y sur durante la época seca, superan el límite de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en las Normas Venezolanas. Sin embargo debido a que este límite es definido como un promedio anual que puede ser superado hasta por el 50% de las muestras en una determinada evaluación, al observar los valores diarios de las diferentes zonas se puede constatar que en todas las zonas el porcentaje de excedencia es igual o menor al 50%.

Los promedios aritméticos para las épocas seca y lluviosa se muestran en el gráfico 2, conjuntamente con la media anual para este grupo de zonas.

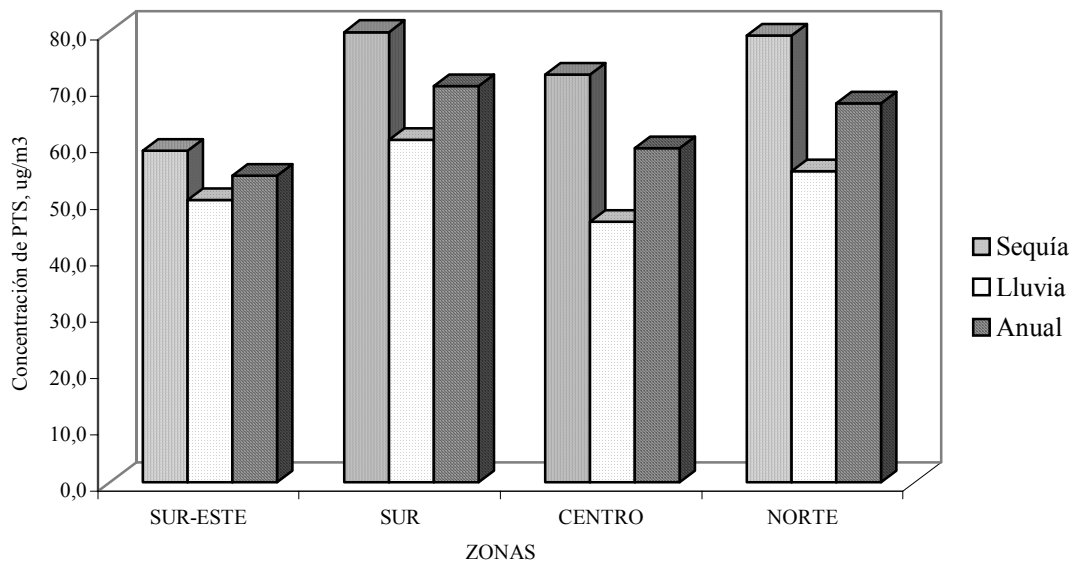


Figura 2: Promedios de las concentraciones de Partículas Totales Suspendidas en el segundo grupo de zonas evaluadas

En este gráfico se observan que el promedio anual nunca se sobrepasa, por lo cual de acuerdo a estas normas, las cuatro zonas evaluadas en este grupo, al igual que las del primer grupo se pueden considerar de aire limpio.

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LAS PTS

A fin de correlacionar las concentraciones de PTS con sus posibles fuentes emisoras y condiciones meteorológicas se someten los resultados a la prueba estadística de t student, diagramas de dispersión y prueba de Kolmogorou-Smirnov.

Con la prueba del t student se comparan las medias aritméticas de las concentraciones de PTS entre las zonas muestreadas en una misma época meteorológica y las medias de una misma zona en diferentes épocas meteorológicas, a fin de determinar si existen diferencias significativas entre las medias que se comparan.

Al aplicar esta prueba al primer grupo de zonas, se encuentra que sólo hay diferencias significativas entre la zona sur y el resto de las zonas en ambas épocas meteorológicas. Esto significa que con un nivel de confianza del 95% se puede decir que la zona sur presenta fuentes que emiten material particulado diferentes a las de las otras tres zonas evaluadas simultáneamente.

Respecto a los resultados de esta prueba en la misma zona pero diferente época meteorológica, sólo se encontró diferencias significativas en las zonas este y sur, indicando que el efecto lavador de las lluvias fue más eficiente en esta zona que en las zona norte y oeste.

En el segundo grupo de zonas, en la época seca sólo se encuentra diferencias significativas entre las zonas norte y sur-este y entre sur y sur este. Pero en la época de lluvia sólo existen diferencias significativas entre la zona centro y la sur. Esto significa que en esas zonas existen fuentes adicionales de partículas respecto al resto de las zonas.

En cuanto a la influencia de la época meteorológica en las zonas, se encontró diferencia significativa en las zonas norte, centro y sur, indicando que sólo en la zona sur-este no hay diferencias significativas entre las concentraciones en ambas épocas meteorológica, lo cual sugieren que en esta zona las partículas deben ser muy pequeñas en su mayoría, por lo cual el efecto lavador de las lluvias es poco eficiente (Stern, 1973).

Los diagramas de dispersión realizados por pares de zonas evaluadas en forma simultánea, muestran que en el primer grupo de zonas existe una fuerte correlación lineal entre los niveles de PTS, tanto en época de sequía como en lluvia. Esto significa que las principales fuentes de partículas suspendidas son aproximadamente iguales en las cuatro zonas. En el segundo grupo de zonas, también se observan correlación lineal estadísticamente significativa, indicando que también en estas zonas las principales fuentes de partículas son las mismas en las cuatro zonas, siendo el tráfico automotor una de las fuentes más importante (Escalona y Grimaldo 1992)

Los resultados de la aplicación de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, revelan que las concentraciones de PTS en el primer grupo de zonas, se ajustan mejor a una distribución logarítmica normal, pero en época de lluvias sólo las concentraciones de las zonas este y oeste se ajustan a este modelo pero las del norte y el sur se ajustan mejor a una distribución normal.

En el segundo grupo de zonas, en época seca todas las concentraciones de PTS en las cuatro zona estudiadas, se ajustan mejor a una distribución logarítmica normal, pero en época de lluvia las concentraciones se ajustan mejor a una distribución normal. Tanto la distribución normal como la logarítmica normal, se obtienen cuando los aerosoles atmosféricos son entregados por un área emisora determinada (Pollac, 1975)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PARTICULAS TOTALES SUSPENDIDAS

El efecto de las partículas sobre la salud de los humanos depende de su tamaño y composición química (Ortiz, 1997). Por esta razón en este trabajo se determina la composición química de las partículas.

Para el momento de escribir este trabajo sólo se ha completado el análisis de sulfato, nitrato y cloruro en el primer grupo de zonas evaluadas en ambas épocas meteorológicas y los metales en época de sequía. Estos resultados se muestran en la tabla 3, donde se observan las concentraciones promedio aritmético de los diferentes aspectos químicos.

Para el segundo grupo de zona sólo se ha completado el análisis de metales en la época de lluvias, cuyos resultados se presentan en la tabla 3

Tablas 3 : Composición química de las PTS en el primer grupo de zonas evaluadas

E P O C A S E C A							
ZONAS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	NO ₃	SO ₄ ⁼	Cl-	Pb	Cu	Fe	Mn
Norte	6.42	2.63	1.54	0.26	0.03	1.17	0.02
Sur	7.70	2.04	1.60	0.34	0.04	1.25	0.02
Este	6.39	2.59	1.52	0.26	0.06	1.12	0.02
Oeste	7.00	2.18	1.60	0.32	0.05	1.17	0.03

E P O C A L L U V I A			
ZONAS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	NO ₃	SO ₄ ⁼	Cl-
Norte	5.41	1.55	1.34
Sur	6.33	1.58	1.20
Este	5.30	1.19	1.17
Oeste	5.79	1.38	1.18

Tablas 4 : Contenido metálico de las PTS en el segundo grupo de zonas evaluadas durante la época de lluvias

ZONAS	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Pb	Cu	Fe	Mn	Ni
Centro	0.45	0.04	0.65	0.01	0.01
Norte	0.77	0.06	0.88	0.02	0.01
Sur-Este	0.51	0.05	0.74	0.02	0.01
Sur	0.54	0.02	0.87	0.02	0.01

De los diferentes aniones evaluados sólo el cloruro tiene un patrón establecido en la Normativa Venezolana (decreto 638, 1995) el cual establece como promedio anual el valor de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un porcentaje de excedencia del 2%. Las concentraciones reportadas en este trabajo, están muy por debajo de este patrón.

De los metales evaluados, sólo el plomo tiene asignado un patrón en la Normativa Venezolana, de $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un porcentaje de excedencia del 50% en el período de evaluación. En las concentraciones encontradas en este trabajo nunca se alcanzó dicho valor.

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de partículas totales suspendidas son menores en época de lluvia debido al efecto lavador de las lluvias.
2. Todas las zonas evaluadas se consideran de aire limpio en cuanto al contenido de PTS, debido a que el patrón de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no fue superado en ninguna de las ocho zonas, en un porcentaje mayor al permitido.
3. En el primer grupo de zonas evaluadas, sólo la zona sur presenta fuentes emisoras de partículas diferentes a las demás.

4. En el primer grupo de zonas, el efecto lavador de la lluvia fue más eficiente en las zonas este y sur.
 5. En el segundo grupo de zonas, en época seca existen diferencias significativas entre las zonas norte y sur-este y entre sur y sureste. Pero en época de lluvias solo la zona central y la sur presentan diferencias significativas.
 6. La fuerte correlación lineal observada en ambos grupos de zonas, en ambas épocas meteorológicas indica que las fuentes emisoras de partículas son aproximadamente las mismas en todas las zonas.
 7. En el primer grupo de zonas las concentraciones de PTS, se ajustan a una distribución logarítmica normal excepto las zonas norte y sur en época de lluvias que se ajustan mejor a una distribución normal.
 8. En el segundo grupo, en época seca todas las concentraciones siguen un comportamiento logarítmico normal, pero en época de lluvia se ajustan mejor a una distribución normal.
- Las concentraciones de cloruro y plomo encontrados en las zonas evaluadas son inferiores a las patrones establecidos en la normativa venezolana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Decreto 638, (1995), *Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica*, Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4899 (extraordinario), Mayo 19, 1995.
- Escalona L y Grimaldo J (1992) *Análisis de partículas suspendidas totales en el aire de algunas zonas de Valencia y contenido en trazas metálicas*, Trabajo de ascenso no publicado, Universidad de Carabobo, Valencia.
- Lodge J.(1988) Editor, *Methods of air samplig and analysis*, Intersociety Committee, 3era ed, Lewis Publishers Inc.
- Martínez A y Romieu I (1997) *Introducción al monitoreo atmosférico*, Centro Panamericano de Ecología y Ambiente, OPS, OMS, México.
- Norma Venezolana COVENIN 2060 (1996), *Determinación de partículas totales suspendidas en el aire*, Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN, Caracas.
- Ortiz, M.E(1997), *Emisiones atmosféricas*, Curso organizado por el Laboratorio Tecnológico del Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia – Venezuela.
- Pollack, RI (1975),, *Studies of Pollutant concentration Frequecy Distribution*, EPA-650/4-75-004.
- Stern, A (1973), *Air Pollution and its effects*, Academic Pres, 6ta ed, Londres.