

## **Estudio sobre la calidad del aire en el municipio la Lisa, provincia Ciudad de la Habana, Cuba**

Ida I. Pedroso Herrera <sup>(1)</sup>, Manuel J. Fundora Granda, Tomás Torres Rodríguez <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212. No.2906 entre 29 y 31, Rpto. La Coronela. La Lisa, Ciudad de La Habana. Cuba

Recibido: enero-octubre, 2000	Aceptado: noviembre, 2000
-------------------------------	---------------------------

### **Resumen**

En la actualidad el conocimiento del estado de la calidad del aire posee una gran importancia para la humanidad dada la creciente contaminación que está sufriendo el Medio Ambiente. (Woldbott G. L. 1978). El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los resultados del estudio preliminar de la calidad del aire hecho en el municipio de La Lisa al Oeste de la capital cubana. Dicho estudio se realizó a partir del inventario de fuentes industriales contaminantes, encuestas y visitas realizadas por la Comisión del Medio Ambiente Municipal a las fuentes y sus vecindades y la aplicación y el desarrollo de modelos matemáticos como una medida alternativa de apoyo a la vigilancia de la contaminación atmosférica, ya que en estos momentos el país ha venido confrontando problemas con el monitoreo de la calidad del aire en zonas urbanas debido a deficiencias en el equipamiento. (CITMA, 1995). También es aplicado el modelo de Bonito Lara (1992) para determinar las concentraciones de Monóxido de Carbono en las principales vías del Municipio. Finalmente los autores desarrollan un modelo matemático para la evaluación integral considerando la contribución de fuentes fijas (industrias) y fuentes móviles (vehículo automotor) a la contaminación del aire por Consejos Populares determinándose las diferentes categorías de potencialidad de contaminación para el Municipio. Este resultado se ilustra con un mapa.

**Palabras clave:** calidad del aire, medio ambiente.

### **Abstract**

At the present the state of urban air quality have a great significance for the humanity due to the increase of environmental pollution (Woldbott G. L. 1978). The objective of this paper is to show the results of a preliminary study of air quality at La Lisa municipality, Havana, Cuba. The study is based on air pollution source inventory, results of visits by environment municipal commission to sources and surrounding areas, and by making use of mathematics models. The followed methodology is considered as an alternative way to help the air pollution control, at this time when, the country's authorities are facing many problems with the equipment for air quality monitoring (CITMA, 1995). It is also used a model from Bonito Lara (1992) to estimate the concentration of CO at the main streets of the Municipality. Finally the authors have developed a mathematics model to integrated evaluation of contribution from stationary sources (industrial activity) and mobile ones (vehicular traffic) by different local communities for different categories of air's pollution potentiality. The former result is illustrated with a Map.

**Key words:** air quality, environment.

## Introducción

Entre las fuentes fundamentales de contaminación atmosférica se encuentran las fuentes fijas o centros industriales y las fuentes móviles o vehículo automotor (UNEP and WHO, 1988, Calderón Carlos E., 1985). A nivel internacional (Transboundary Air Pollution, 1986).el creciente incremento del parque automotor con empleo de combustible fósil por motores de combustión interna, contribuye al calentamiento del planeta en alta medida, un ejemplo de ello es que la combustión por tanque de gasolina puede incrementar entre un 30 y un 40% dicho calentamiento al arrojar entre 300 y 400 libras de dióxido de carbono y producir una importante cantidad de monóxido del mismo. En dependencia del país, las fuentes móviles pueden aportar entre un 40 y un 80% del total de las emisiones antropogénicas de los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos de plomo e hidrocarburo, sin quemar, sin contar que los gases de escape debido al transporte resultan ser extremadamente molestos por originarse a nivel del suelo y no existir chimeneas de ventilación, ni estar separadas por áreas de protección sanitaria de las zonas residenciales como en el caso de las industrias (Lidenan, J. K., 1995).Por otra parte, en la actualidad casi toda la actividad industrial genera agentes contaminantes, en forma de gases, de partículas sólidas o de aerosoles líquidos, en su mayoría constituidos por sustancias tóxicas dañinas para la salud, la economía y el Medio Ambiente de ahí la importancia de mantener un control sobre las emisiones producidas por las fuentes de contaminación de origen tecnológico, considerando además una serie de factores que inciden en el desarrollo de los contaminantes en la atmósfera, como son el factor meteorológico y el factor topográfico.

El estudio se desarrolla en el Municipio capitalino cubano de La Lisa el cual está estructurado en Consejos Populares, como se muestra en la tabla NoI, donde se indica además del área ocupada por cada Consejo, la población y superficie con que cuenta cada uno. En el trabajo, en lo adelante, los autores se refieren a los Consejos, mencionando su número de orden de acuerdo a la tabla NoI.

**Tabla I** División administrativa del Municipio La Lisa en consejos populares, población y superficie

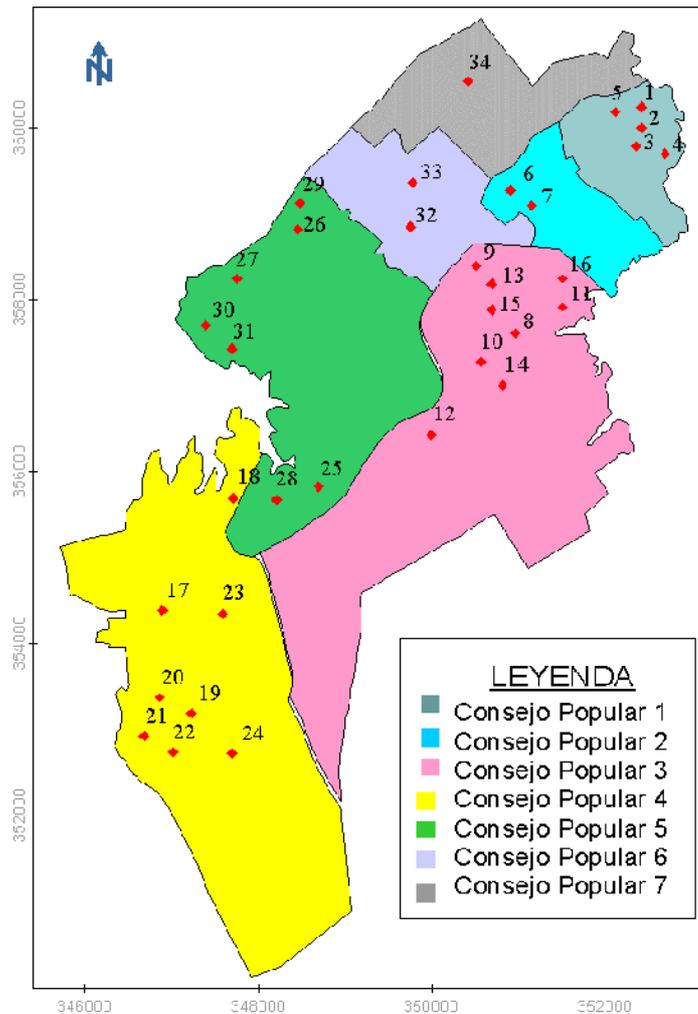
No del Consejo	Area que ocupa	Población Total (habitantes)	Superficie (Km <sup>2</sup> )
1	Alturas de la Lisa	23 155	1.65
2	Balcón - Arimao	21 885	1.70
3	Cano, Valle G, Bello 26	7 377	11.91
4	Punta Brava	10 945	9.71
5	Arroyo Arenas	12 625	6.51
6	San Agustín	28 839	2.48
7	Versalles y La Coronela	18 312	2.67

## Materiales y métodos

1.- Procedimiento para la evaluación de la contribución de las fuentes de contaminación fijas.

Para el estudio se seleccionaron los centros que potencialmente representan una fuente de contaminación industrial para el Municipio, ubicándolos por Consejos Populares de acuerdo a la tabla del anexo, según un inventario de fuentes contaminantes realizado por la Dirección Municipal de Higiene y Epidemiología de La Lisa. La ubicación geográfica de las industrias se ilustra en la figura No. 1, los números en cada punto, indicado en el mapa, se corresponden con el número de orden de la fuente, de acuerdo a la tabla del anexo. Se valoró la potencialidad de fuentes expulsoras de contaminantes con una caracterización por consejos populares del porcentaje de tipos de contaminantes, respecto al total de fuentes existentes dentro del consejo, para estimar cuales eran las que más incidían en cada uno de ellos.

Se estimó, como un indicador de impacto sobre la salud de la población, las quejas de molestias reportadas por la vecindad más próxima a cada fuente según encuestas realizadas por la Comisión de Medio Ambiente del Municipio.



**Figura 1.** Mapa del Municipio La Lisa con la ubicación geográfica de los establecimientos industriales utilizados en el análisis, la numeración de los puntos se corresponde con la tabla anexada.

Para caracterizar la contribución del total de fuentes industriales dentro de un consejo popular es posible considerar todos los factores utilizados en el trabajo con un índice "I" expresándolo de acuerdo a la siguiente fórmula empírica:

$$I = (n + n_e + n_r + s) / n \quad (1)$$

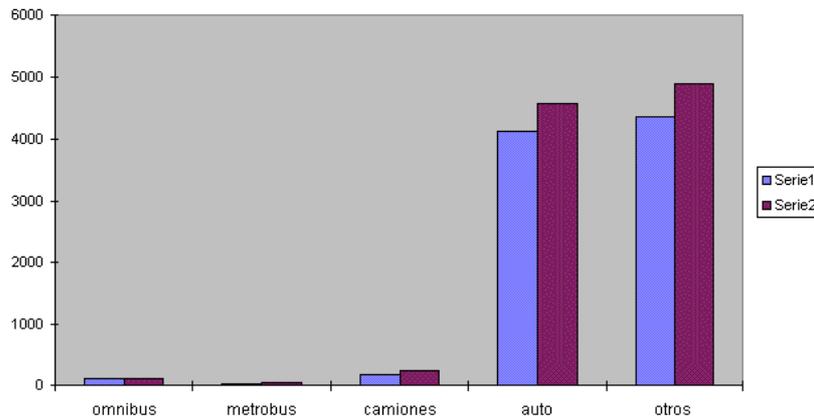
Donde n es el total de fuentes en cada consejo popular, n<sub>e</sub> el total de fuentes con emisiones anómalas de sustancias contaminantes dentro del consejo, n<sub>r</sub> total de fuentes que no cumplen con las regulaciones según las Normas NC 93-02-202 (Comité Estatal de la República de Cuba, 1987) sobre los radios mínimos admisibles de las zonas de protección sanitaria en torno a las empresas industriales y s un factor que representa si existen quejas de molestias reportadas por los habitantes vecinos a las fuentes, este factor s adquiere el valor de uno si existieron quejas (independientemente de la cantidad) y cero, si no han existido quejas.

De la expresión (1) se puede notar que la variante óptima es cuando I=1 y la peor variante es cuando el valor que adquiere I es para n = n<sub>e</sub> = n<sub>r</sub> con s=1, o sea para I = (3n+1)/n.

## 2.- Proceso de evaluación de la contaminación del aire debida a las emisiones de los vehículos automotores.

Se realizó una valoración respecto a la situación histórica de evolución del transporte automotor existente en el Municipio La Lisa (a partir de los Informes de Tránsito de la Dirección Municipal de la PNR del 1989 al 1997). Se pudo constatar que, aunque entre 1989 y 1993 se produjo una disminución en la circulación de vehículos automotores y un incremento del empleo de bicicletas, a partir de 1995 ocurrió un ascenso en la circulación de los primeros superándose el parque automotor existente incluso antes de 1989, comportándose en los últimos años de

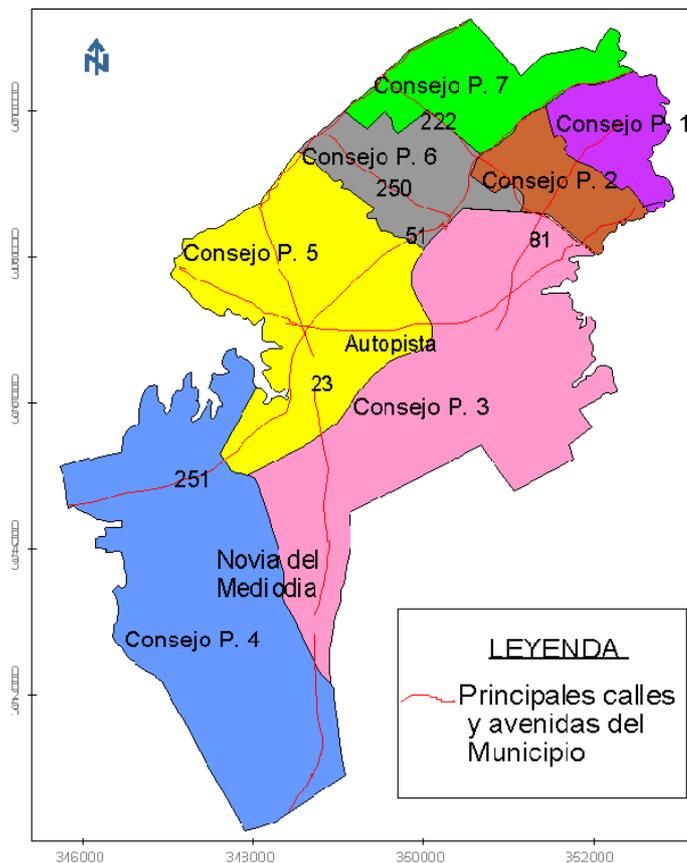
acuerdo a la figura 2, donde la serie 1 muestra el comportamiento del parque automotor en el año 1996 y la serie 2 durante el año 1997.



**Figura.2** Comportamiento del parque automotor en el Municipio durante los años 1996 y 1997.

También se contó para este análisis con la localización de las principales vías de circulación del Municipio de acuerdo al mapa de la figura 3 que son las siguientes:

Avenida 25, Avenida 23, Avenida 51 (desde el puente de la Lisa), Autopista Novia del Mediodía, Autopista Nacional, Avenidas 251, 81, 222 y 250 .



**Figura 3** Mapa de principales vías del Municipio

Las concentraciones de contaminantes del aire generadas por las fuentes móviles dependen del contenido de sustancias nocivas en los gases emitidos por los vehículos, el flujo del transporte, los tipos de vehículos, las características físicas del entorno y las condiciones meteorológicas según Lidenan (1985).

De acuerdo al modelo de Bonito Lara (1991, 1992) es posible predecir las concentraciones de monóxido de carbono en el aire en vías de tránsito del Municipio asumiendo como fuente única el flujo de vehículos y evaluando como elementos externos a las fuentes las características físicas de las vías y las condiciones meteorológicas según la fórmula (1). Esta fórmula permite determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire para períodos de 20 minutos a 2 metros de altura y junto al conten de la vía.

$$CO = K_a (0,0293N_v - 1,5947) \quad (2)$$

Siendo el coeficiente  $K_a$ , un índice que refleja la intensidad del flujo del tránsito sobre el nivel de contaminación en el contexto de la influencia conjunta de las condiciones meteorológicas y las características de la vía y es reportado en tabla por el autor del modelo (Bonito Lara, 1992) y  $N_v$  el flujo medio de vehículos en horas pico (veh /hora).

Con el objetivo de realizar un pronóstico de calidad del aire en el Municipio se propone emplear el presente modelo de cálculo para determinar las concentraciones de CO en las vías de mayor circulación. Aplicando esta fórmula se determinó la concentración de CO para varios tramos de la avenida 51, la Autopista Novia del Medio día, la Autopista Nacional y la avenida 23.

Para determinar la concentración global de monóxido de carbono "CO" para cada Consejo, considerando un número  $i = 1, 2, \dots, n$ , de avenidas que coinciden en el consejo, se utilizó la siguiente fórmula, aplicando el modelo de Bonito Lara (1982):

$$CO = \frac{(N_{v1}CO_1 + N_{v2}CO_2 + \dots + N_{vn}CO_n)}{(N_{v1} + N_{v2} + \dots + N_{vn})} \quad (3)$$

por otra parte el porcentaje global ( $P_{co}$ ) de reducción de las emisiones específicas del CO necesario para lograr que la contaminación descienda desde su nivel actual hasta el valor de concentración máxima admisible (CMA), se puede determinar de forma aproximada (Bonito Lara 1992) para  $CO > CMA$ , como:

$$P_{co} = \frac{(CO - CMA)}{CO} \cdot 100 \quad (4)$$

Para valorar la contribución simultánea de las fuentes fijas y móviles a la contaminación atmosférica en el territorio podemos establecer el índice C, como la suma:

$$C = I + A \quad (5)$$

Donde I representa la contribución de las fuentes fijas de acuerdo a la fórmula 2, mientras que A es la contribución de las fuentes móviles y está en función del  $P_{co}$ .

Para la ejecución del estudio los autores asumieron las siguientes condiciones:

1. Si  $P_{co}$  es mayor del 50% la potencialidad de contaminación la consideramos alta., Cuando  $P_{co}$  se encuentra entre 10 y 50% la consideramos moderada y para valores de  $P_{co}$  entre 1 y 10 leve.
2. Establecer un índice A para dar un peso a los diferentes valores por categoría de potencialidad de contaminación, donde  $A=10$  cuando  $P_{co}$  es igual o mayor al 50%,  $A=5$  cuando  $P_{co}$  es menor del 50% pero mayor del 10% y un valor de  $A=2$  cuando  $P_{co}$  sea menor del 10% y un  $A=0$  para  $P_{co}=0$ .

El valor optimo se obtendría para  $C=1$ , es decir siendo  $I=1$  y  $A=0$ .

Para evaluar de forma integral la contribución de ambas fuentes, fijas y móviles, a la contaminación del Municipio debemos considerar un valor de C mayor de 11 para un potencial de contaminación alto, ya que cuando  $A=10$  la contribución por fuentes móviles es potencialmente alta mientras que el aporte de fuentes fijas es notable para valores de I mayores que 1, el potencial de contaminación moderado se consideraría para C mayor que 6 y menor o igual a 11 y leve para un valor de C menor o igual a 6.

**Resultados y discusión**

La valoración de la potencialidad de fuentes fijas expulsoras de contaminantes arrojó el resultado que se muestra en la tabla II.

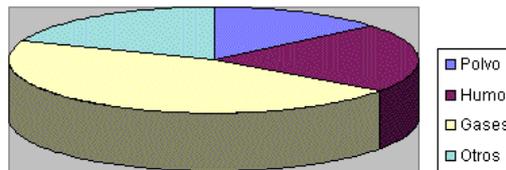
En algunos casos no se contaba con la especificación exacta de la composición química de los gases respecto a la cantidad de NO, CO, SO2 u otros, por lo que la información se presenta de forma general en la columna correspondiente a "gases" y en la columna correspondiente a "otros contaminantes" están incluidos contaminantes químicos, olores y bacterianos entre otros.

Los elementos contaminantes en muchas de las fuentes están combinados, o sea una misma fuente puede expulsar varios tipos de contaminantes. Como se puede observar de la tabla, los elementos predominantes (son los valores escritos en negrita), en el caso de los Consejos 1, 2, 3 y 5, son los gases, para el Consejo 4, otros contaminantes, en el Consejo 6, predominan en igual intensidad, los polvos y el humo y en el Consejo 7, los humos y los gases.

**Tabla II** Potencialidad de la contaminación (en porcentos) por tipo de contaminante para cada consejo.

Consejo Popular	Total de Fuentes (n)	Polvos(%)	Humos(%)	Gases (%)	Otros(%) <sup>1</sup>
1	5	40	60	<b>80</b>	40
2	2	0	50	<b>100</b>	0
3	9	22	22	<b>78</b>	0
4	8	25	0	63	<b>75</b>
5	7	14	57	<b>100</b>	43
6	2	<b>50</b>	<b>50</b>	0	0
7	1	0	<b>100</b>	<b>100</b>	0

Analizando al Municipio en su conjunto vemos que son los gases los elementos de mayor incidencia, en correspondencia con la figura 4, donde se muestra el comportamiento de todos los elementos contaminantes de las fuentes fijas para el Territorio.



**Figura 4** Comportamiento de los elementos contaminantes del aire en el Municipio por fuentes de contaminación fijas.

Para realizar una valoración sobre los consejos con mayor incidencia de las fuentes industriales en la calidad del aire del Municipio los autores consideraron además del inventario de fuentes, el resultado arrojado por las visitas realizadas por la Comisión de Medio Ambiente del Municipio a los establecimientos industriales y sus áreas aledañas, de esto se corroboró la presencia de emisiones anómalas en dos fuentes del Consejo número tres que ocupa el área de El Cano-Valle Grande y Bello 26 (en Pulvimetalúrgica y en la Fábrica de Oxígeno) además del incumplimiento del radio de protección sanitaria en un caso en este mismo consejo, así como las quejas de molestias reportadas por la población vecina a una fuente En el consejo No. 1, o sea, Alturas de la Lisa, se reportaron quejas de molestias de los vecinos de la Fábrica de papel de techo.

Evaluando el valor del coeficiente I, por la fórmula (1), para cada consejo del Municipio, se obtuvo; para el consejo 3, I=1,4 y para el consejo 1, I=1,2, mientras para los restantes consejos, I=1 lo cual identifica al consejo 3 como el consejo de mayor aporte por fuentes fijas a la contaminación atmosférica del Municipio, seguido del consejo 1.

En el caso de las fuentes móviles tenemos que el cálculo de la concentración de monóxido de carbono en horas pico aplicando la fórmula 2 para diferentes tramos de algunas de las principales avenidas del Municipio arrojó los resultados que se muestran en la tabla No III

**Tabla III** Valores de la concentración de CO en avenidas

Avenidas	Concentración de Monóxido de carbono (mg/m <sup>3</sup> )
Autopista Nacional(entre 81 y 51)	10,1
Autopista Nacional (entre 23 y 51)	13,1
Autopista Novia del Medio día (de 51 a Valle Grande)	5,7
Autopista Novia del Medio día (de Valle Grande al Guatao)	6,7
25(entre 212 y 254 )	5
51(entre 142 y 264)	14,5
51(entre Autopista Nacional y 264)	10,05
23(de 222 a la Autopista Nacional)	3,7

El valor establecido en la norma cubana de calidad del aire, NC 93'02'202/87 (Comité Estatal de Normalización de las República de Cuba, 1987) de concentración máxima admisible (CMA) para el monóxido de carbono, instantáneo (20 minutos) es de 5mg.m.<sup>-3</sup> . De la tabla III se puede notar que solamente las avenidas 25 y 23 cumplen con el valor normado.

Utilizando las expresiones (3) y (4) fueron determinados los valores de la concentración global de monóxido de carbono "CO" para cada Consejo, considerando un número  $i = 1, 2, \dots, n$  de avenidas que coinciden en el consejo dado, así como, el porcentaje global (Pco) de reducción de las emisiones específicas del CO necesario para lograr que la contaminación descienda desde su nivel actual hasta el valor de concentración máxima admisible (CMA); estos resultados se ofrecen en la tabla IV.

La contribución simultánea de las fuentes fijas y móviles a la contaminación atmosférica en el territorio de cada Consejo Popular fue valorada según la expresión (5).

El resultado obtenido para el Municipio La Lisa en su valoración por Consejos Populares fue el que se muestra en la tabla IV, de donde se concluye que los Consejos 1 y 3, con valores del índice C mayores de 11, poseen un potencial de contaminación alto, los consejos 2, 5, 6 y 7, un potencial moderado y el consejo 4 un potencial leve de contaminación.

**Tabla IV.-** Valores de los índices de evaluación de la contaminación en el Municipio por Consejo.

Consejo	"CO" (mg.m. <sup>-3</sup> )	Pco (%)	I	A	C
1	14,5	65,5	1,2	10	11,2
2	14,5	65,5	1	10	11
3	10,9	54,1	1,4	10	11,4
4	6,7	25,3	1	5	6
5	10,2	50,1	1	10	11
6	11,5	56,5	1	10	11
7	11,5	56,5	1	10	11

## Conclusiones

1. Se ha realizado una valoración de la calidad del aire en el Municipio La Lisa a partir del análisis de la contribución relativa por categorías de fuentes (fijas y móviles) para cada Consejo Popular, obteniéndose la potencialidad de contaminación que se presenta en el mapa de la figura 4.
2. En el país se han venido confrontando problemas con la red de monitoreo de la atmósfera en zonas urbanas, para mantener una continuidad en el control del comportamiento de la calidad del aire por la importancia que esto posee para la protección del Medio Ambiente y la salud en el presente trabajo se ha

desarrollado un modelo que permite realizar una caracterización de los territorios a partir de la información disponible y determinaciones matemáticas.

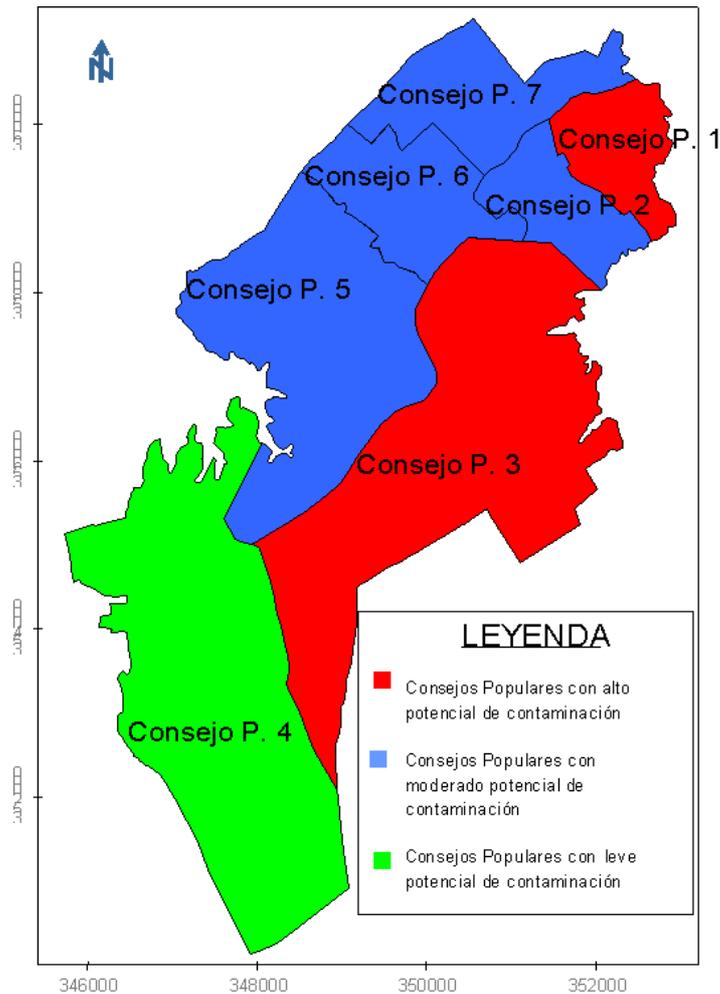


Fig.No. 5.- Potencial de contaminación por Consejo Popular en el Municipio La Lisa.

### Bibliografía

- Bonito Lara L. A., 1991. "Criterios para la prevención y vigilancia de la contaminación atmosférica Urbana. "Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias". Habana.
- Bonito Lara L. A., 1992. "Modelos para el cálculo de monóxido de carbono en avenidas", Serie Salud Ambiental No2. Contaminación del aire y salud.. Parte II, 79-81 INHEM. Cuba.
- Calderón Carlos E., Romero Fernando, L Gómez, 1995. Salud Ambiental y Desarrollo, Bogotá, Colombia.
- CITMA, 1995. Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, Cap. 13, Protección de la atmósfera. La Habana, Cuba.
- Comité Estatal de la República de Cuba, 1987. Norma Cubana de Calidad del Aire NC 93-02-202, 3-85. La Habana, Cuba.
- Dirección Municipal del Tránsito, 1997. Informe sobre el tránsito y las vías en el Municipio Lisa, La Habana, Cuba.
- Lidenan, J. K., 1995. "Effect of noise wall on snow accumulation and air quality", Transp Rev. Rec.1033:79-88.
- Transboundary Air Pollution, 1986. Effects and Control. Air pollution studies United Nations .New York.
- UNEP and WHO, 1988. "Assessment of Urban Air quality " Global environment monitoring system. London
- Woldbott G. L., 1978. "Health effects of environmental pollution WHO .European.

Anexos

Inventario de fuentes contaminantes de la industria. Municipio Lisa.

No CONSEJO	No de FUENTE	INSTALACIÓN CONTAMINANTE	NATURALEZA DE LA CONTAMINACIÓN	PRINCIPALES CONTAMINANTES
1	1	Establecimiento. "G Moncada"	Orgánico (madera)	Sólidos suspendidos
1	2	Empacadora "El Tigre"	Orgánico	Gases - olores
1	3	Fabrica. de Papel de Techo	Inorgánico	Gases, humo. olores
1	4	Tejar "Francisco Pita"	Inorgánico	Polvos, gases y humos
1	5	Paradero "Ruta22"	Inorgánico	Gases y humos
2	6	Reconstructora IKAROS	Inorgánico	Gases
2	7	Paradero ARIMAO	Inorgánico	Gases y humos
3	8	Vertedero El Vidrio	Inorgánico	Gases y humos
3	9	Combinado El Vidrio	Inorgánico	Polvos de Sílices
3	10	Planta de . Impermeabilizantes. asfálticos	Inorgánico	Humos y gases
3	11	Fábrica de Pizarras Eléctrica	Inorgánico	Gases
3	12	Planta de prefabricado. J. A. Mella	Inorgánico	Polvos
3	13	Fábrica de camiones	Inorgánico	Gases
3	14	Combinado Optico	Inorgánico	Gases
3	15	Empresa de Gases Industriales	Inorgánico	Gases
3	16	Inv. Pulvimetalurgia	Inorgánico	Amoniaco.
4	17	Fabrica de mosaicos	Inorgánico	Polvos
4	18	Fabrica de Machetes	Inorgánico	Gases
4	19	IIIA	Orgánicos	Químicos
4	20	Procesadora "Fiambre"	Orgánico	Gases y olores.
4	21	Granja Pecuaria "Julio A. Mella"	Orgánicos	Gases y olores.
4	22	II Porcina	Orgánico	Químicos
4	23	Plan 160 Vaquerías	Orgánico	Gases y olores
4	24	Plan Oca Alimentos	Orgánico	Sólidos en suspensión, gases y olor
5	25	Fabrica de conserva .	Inorgánico	Humos y gases
5	26	Granja Avícola	Orgánico	Gases y olores
5	27	Granja Porcina."ÚH"	Orgánico	Gases y olores
5	28	Laboratorio. Diagn. Veterinaria	Orgánico e Inorgánico	Organismos, gases y humo
5	29	PPG formas terminadas	Inorgánico	Gases
5	30	IPK	Orgánico	Químico -biológico, gases , humo
5	31	Metrobus	Inorgánico	Gases y humos
6	32	Tintorería El Modelo	Inorgánico	Humo
6	33	Planta Gran Panel	Inorgánico	Polvo
7	34	Elaborad. de alimentos	Inorgánico	Humos y gases