

# Contaminantes aéreos y sus efectos en pacientes alérgicos del Valle de Caracas

Dra. Doris Perdomo de Ponce

Individuo de Número Sillón XXXIX

## RESUMEN

*La prevalencia y severidad de las enfermedades alérgicas está aumentando de manera alarmante a nivel mundial. Las principales enfermedades emergentes son las que se expresan a nivel del tracto respiratorio, por inhalación de contaminantes locales y regionales a causa de las alteraciones climáticas que se observan y registran en nuestro planeta.*

*Numerosos artículos sobre el cambio climático y sus efectos en la reacción alérgica han aparecido en la literatura reciente, específicamente en relación con la exposición alérgica, incluyendo tipo, frecuencia, ubicación geográfica, cantidad y calidad, en particular granos de polen debido a cambios del tiempo y duración de la estación floral de las plantas alérgicas.*

*Las alteraciones en la vegetación son indicadores muy sensibles del cambio climático. El aumento de CO<sub>2</sub> incrementa a su vez la biomasa vegetal, la distribución de las plantas, la producción de polen y en un mayor grado, su capacidad alérgica. Otros efectos importantes se observan en la respuesta inflamatoria de la población a riesgo hacia proteínas alimentarias, alérgenos de insectos y reactividad cruzada entre antígenos.*

*Agentes como el ozono, el material particulado, el dióxido de azufre y las partículas diesel se conocen que forman especies reactivas de oxígeno, tales como el anión superóxido, el peróxido de hidrógeno y los radicales hidroxilos. Las especies reactivas de oxígeno pueden dañar proteínas, lípidos y directamente el ADN. Los contaminantes producen un efecto reversible en la función pulmonar, en el mecanismo inflamatorio de las vías aéreas, hiper-reatividad bronquial, comprometen la función inmunológica, aumentan la incidencia y exacerbación de enfermedades pulmonares como el asma y su tasa de mortalidad. Estos agentes estimulan además, el aumento de la permeabilidad a nivel de las mucosas aéreas, lo que facilita el pase rápido de los antígenos sensibilizantes hacia capas de tejido más profundas y por consecuencia, facilitan una mayor interacción con las células del sistema inmune.*

*Se ha propuesto un sinergismo entre las partículas diesel y los aereoalérgenos a nivel de la mucosa respiratoria alta*

*de humanos, estimulando la producción de IgE específica por la producción de citoquinas Th2. Esto se explica por las propiedades adyuvantes de estas partículas asociadas a un aumento en la prevalencia de asma a nivel mundial, hecho relacionado al uso más frecuente de diesel en el parque automotor.*

*Publicaciones aisladas sobre contaminantes aéreos en Venezuela, estimula la estructuración de un proyecto multidisciplinario por fases (I, II y III) de investigación, con el fin de determinar la posible influencia de los mismos, en la aparición y exacerbación de enfermedades alérgicas a nivel del tracto respiratorio, en especial los pacientes que sufren de asma en el área metropolitana de Caracas.*

*Los resultados de este proyecto permiten consolidar el "Primer modelo de estudio interdisciplinario e interinstitucional para contaminantes atmosféricos en el valle de Caracas y sus efectos en pacientes alérgicos", identificando los más importantes en el ambiente urbano y sus efectos en las vías respiratorias, propiciando nuevas políticas de prevención que puedan ser proyectadas a través de una red de vigilancia médico-ambiental, con el fin de disminuir la frecuencia de estas entidades clínicas en nuestro medio tropical.*

*Palabras clave: Polen. Asma. Mapa polínico. Hidrocarburos aromáticos.*

## SUMMARY

### **Air pollutants and their effect in allergic patients in the Valle of Caracas**

*The prevalence and severity of allergic diseases is increasing at alarming rate worldwide. The principal emerging diseases are located in the respiratory tract due to inhalation of local and regional pollutants as a consequence observed and registered climate changes in our planet.*

*Numerous articles about climate change and its effect on the allergic reaction have appeared in recent literature, specifically in relation to the allergen exposure including:*

*type, frequency, geographical location, quantity and quality, in particular pollen grains due to changes in the weather and duration of the flowering season of allergenic plants, Changes in the vegetation are very sensitive indicators of climate change. The increase in CO<sub>2</sub> increases the plant biomass, plant distribution, pollen production and in great degree its allergenic capacity. Other important effects are observed in the inflammatory response to proteins, insect allergens and crossed reactivity between allergens of the population at risk.*

*Agents such as the ozone, material particles, sulphur dioxide and diesel particles are known as reactive oxygen species, such as superoxide anion, hydrogen peroxide and hydroxyl radicals. The reactive oxygen species can damage proteins, lipids and DNA directly. The pollutants produce a reversible effect on pulmonary function, the inflammatory mechanism of the airways, produce bronchial hyperreactivity, compromise the immunological function, increase the incidence and exacerbation of pulmonary diseases such as asthma and its mortality rate. These agents also stimulate the increase in permeability of the mucosa airway, which facilitates the rapid pass and entry of antigens to the deeper layers and as a result facilitate the interaction with immune system cells.*

*A synergism between diesel particles and air allergens in the upper human mucosa respiratory tract has been proposed and it is thought that Th2 cytokines stimulate the production of specific IgE. This can be explained by the properties of these particles and their association with an increase in the asthma prevalence worldwide and the fact that there has been a more frequent use of diesel in vehicles.*

*Publications about air pollutants in Venezuela promote that instauration of an interdisciplinary project of investigation phases (I, II, III), in order to determine their possible influence in the development and exacerbation of allergic diseases in the respiratory tract, especially in asthma patients from the metropolitan Caracas area.*

*The results of this project allow us to consolidate the "First interdisciplinary and interinstitutional model study for atmospheric pollutants in the Valle of Caracas and their effects on allergic patients," to identify the most important pollutants in the urban environment and their effects on the respiratory tract and the development of new prevention policies that can be projected through a medical-environmental surveillance network with the main objective to decrease the frequency of these diseases in our tropical environment.*

*Key word: Pollen. Asthma. Polinic map. Aromatic hydrocarbons.*

## INTRODUCCIÓN

La prevalencia y severidad de las enfermedades alérgicas está aumentando de manera alarmante a nivel mundial. Las principales enfermedades emergentes,

son las que se expresan a nivel del tracto respiratorio, por inhalación de contaminantes locales y regionales a causa de las alteraciones climáticas que se observan y registran en nuestro planeta.

La temperatura terrestre se está elevando y la causa principal de este efecto es la acción del hombre. Evidencias demuestran que el origen de este calentamiento es extrínseco, producto de las actividades humanas (1). El gas invernadero más importante es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), emitido por la combustión de hidrocarburos y en menor grado por prácticas de utilización de la tierra, seguido por el óxido nitroso y el metano. En el último decenio, las emisiones de CO<sub>2</sub> se han acelerado globalmente, conduciendo de forma más rápida a un incremento de la temperatura ambiente por dos causas importantes, una es la inercia en el sistema del clima y la otra, por un mayor tiempo de estadía del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Expertos en la materia consideran, que si las emisiones fuesen reducidas bruscamente a cero, el calentamiento climático continuaría a través del siglo XXI y posiblemente persistiría durante cientos de años (2,3).

Los cambios del clima afectarán el modelo de cosecha y aumentarán la probabilidad de nuevos alérgenos inhalables los cuales serán incorporados a esa región geográfica. Además, las especies de insectos seguirán migrando a nuevas ubicaciones por el aumento de la temperatura. Esto producirá que los pacientes reaccionen a más alérgenos, aumentando el número y desarrollo de nuevas manifestaciones clínicas, aún más complejas de las conocidas como enfermedad alérgica (4).

Numerosos artículos sobre el cambio climático y su efecto en la reacción alérgica han aparecido en la literatura, principalmente en relación con la exposición del alérgeno (5,6), incluyendo: el tipo, frecuencia, ubicación geográfica, cantidad y calidad, en especial de los granos de polen por cambios en el tiempo y duración de la temporada de floración de las plantas anemófilas o alérgicas (7). Las alteraciones en la vegetación son indicadores muy sensibles del cambio climático (8). El aumento de CO<sub>2</sub> incrementa a su vez la biomasa vegetal, la distribución de plantas, la producción de polen y en un mayor grado, su capacidad alérgica (9).

La aerobiología estudia el origen, liberación, transporte e impacto de partículas biológicas suspendidas y movilizadas en diversas direcciones por corrientes de aire (10). La aerobiología es una ciencia de carácter multidisciplinario donde se conjugan los

conocimientos de diversos especialistas, girando sobre la importancia de los alérgenos inhalados o aerotransportados, capaces de inducir reacciones alérgicas en individuos expuestos y considerados como población de riesgo.

Los especialistas involucrados en esta área son palinólogos, micólogos, taxónomos de plantas y hongos, meteorólogos e inmunólogos clínicos y básicos dedicados al estudio de factores que influyen en el desarrollo de las enfermedades alérgicas.

Una serie de partículas procedentes de plantas, hongos, ciertas algas, bacterias, actinomicetos y protozoarios tienden a ser transportados por el aire, lo que genera aerosoles cuya densidad varía de acuerdo al área geográfica, condiciones climáticas, prevalencia y distribución de las plantas, siendo estas partículas fácilmente reconocidas según su morfología y/o crecimiento en cultivos adecuados (11).

La importancia de los aeroalérgenos radica en su capacidad de inducir la aparición de una reacción alérgica posterior a la sensibilización del individuo cuando existan concentraciones elevadas del alérgeno en el ambiente y se produzcan cambios oscilantes de exposición (12). Esta reacción da inicio a la enfermedad alérgica, principalmente a nivel del tracto respiratorio.

Otros efectos importantes, se observan en la respuesta inflamatoria de la población de riesgo hacia proteínas alimentarias, alérgenos de insectos y reactividad cruzada entre antígenos (13). Se dice que el aire está contaminado cuando hay presencia de sustancias extrañas o existe una variación en la proporción de componentes susceptibles de inducir molestias o efectos perjudiciales (14). Entre las fuentes que contribuyen a la pérdida de la calidad del aire se encuentran los agentes de origen natural (incendios, volcanes) y las actividades humanas (sistemas de transporte vehicular por gasolina o diesel). Venezuela se sitúa en el segundo lugar, después de Argentina al poseer uno de los más elevados índices de circulación automotora en Latinoamérica (15). Otras fuentes, proceden de las actividades industriales (plantas de cemento, industrias de hierro y acero, fábricas de yeso, cal refineras de petróleo e industria petroquímica), y la emisión a la atmósfera de material volátil como la gasolina, el gasoil, kerosén, y metilaldehído. Los contaminantes considerados urbanos son el polvo total en suspensión, el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), plomo (Pb), hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles (COV) como precursores y los oxidantes

totales.

Agentes como el ozono, el material particulado y el dióxido de azufre, y las partículas diesel se conocen que forman especies reactivas de oxígeno (EROs o DEPs por sus siglas en inglés), tales como el anión superóxido, el peróxido de hidrógeno y los radicales hidroxilos. Los EROs pueden dañar proteínas, lípidos y directamente el ADN. Los contaminantes producen un efecto reversible en la función pulmonar, en el mecanismo inflamatorio de las vías aéreas, hiperreactividad bronquial, comprometen la función inmunológica, aumentan la incidencia y exacerbación de enfermedades pulmonares como el asma y su tasa de mortalidad (16). Estos agentes estimulan además, el aumento de la permeabilidad a nivel de las mucosas aéreas, lo que facilita el pase rápido de los antígenos sensibilizantes hacia capas de tejido más profundas y por consecuencia facilitan una mayor interacción con las células del sistema inmune (17).

Los mecanismos inmunológicos e inflamatorios en la progresión del asma, pueden ser el producto de una inflamación persistente de las vías aéreas y/o su reparación tisular. Desde hace más de una década, se reconoció en la secreción bronquial de pacientes asmáticos la presencia de linfocitos CD4<sup>+</sup> con sus respectivas citoquinas, producto de los linfocitos T<sub>h</sub>2. El concepto de asma posiblemente causado por el efecto de linfocitos T cooperadores, ha sido ampliamente aceptado (18). La inhalación de un antígeno sensibilizante, induce no solo a la activación de células T<sub>h</sub>2 las cuales expresan citoquinas tales como la IL-5, quien a su vez es productora de TGF-β<sup>+</sup> de eosinófilos, promoviendo por esta vía la re-estructuración tisular, además de otras citoquinas que participan como la IL-4, IL-9, IL13, linfocitos, eosinófilos y mastocitos (19).

La homeostasis tisular está representada por los linfocitos T reguladores (Treg), los cuales tienen la capacidad de inhibir la respuesta T<sub>h</sub>2. Su deficiencia, promueve un imbalance en los mecanismos de reparación tisular, propiciando de esta forma la continuidad del mecanismo inflamatorio (20).

La presencia del mecanismo previamente enunciado en el paciente con asma genera una enfermedad heterogénea, con un curso variable, caracterizada por episodios de tos, sibilancias, acortamiento de la respiración, reversibilidad del broncoespasmo e hiperreactividad bronquial (21). La persistencia de estos síntomas conllevan al diagnóstico de asma y la sensibilización hacia alérgenos expresa la variedad alérgica. La presencia de síntomas activos

y la disminución de la capacidad pulmonar, permiten evaluar con precisión el efecto de los contaminantes de diferentes diámetros capaces de alcanzar las vías aéreas en toda su trayectoria, provenientes de una determinada zona geográfica. La hiperreactividad bronquial puede presentarse aislada como inicio de un proceso inflamatorio, es una respuesta exagerada hacia estímulos no sensibilizantes o alérgicos, siendo igualmente medible su respuesta a través de las pruebas pulmonares (22).

La nariz capta las partículas de diferentes diámetros y su respuesta son crisis paroxísticas, recurrentes o persistentes de estornudos inducidas por el proceso inflamatorio. el cual puede expresarse a través de síntomas de prurito y congestión nasal, u ocular, los cuales pueden revertirse de forma espontánea al alejarse el estímulo inductor o a través de un tratamiento médico bloqueante de mediadores de la respuesta inflamatoria (23).

Se ha propuesto un sinergismo entre las partículas diesel y los aeroalergenos a nivel de la mucosa respiratoria alta de humanos, estimulando la producción de IgE específica por la producción de citoquinas Th2. Esto se explica, por las propiedades adyuvantes de estas partículas asociadas a un aumento en la prevalencia de asma a nivel mundial, hecho relacionado al aumento vertiginoso en el uso de diesel en el parque automotor (24).

Estudios epidemiológicos realizados en América Latina sostienen que la prevalencia de asma en la década de los noventa, se incrementó de 5,7 % a 16,5 % en varios países, en gran medida producto de la contaminación del aire en las zonas urbanas (25). El estudio Internacional de Asma y Alergia en la Niñez (ISAAC) sostiene que la prevalencia de asma en la década actual para jóvenes de Latinoamérica entre 13 a 14 años, alcanza un valor promedio en 17 países de 52,54 % y entre 6 a 7 años de 36,26 % (26).

Los factores que eventualmente actuarían como “protectores para el desarrollo del asma” parecen no ser aplicables en Latinoamérica por ejemplo, el mayor número de hijos, la alta ocurrencia de parasitosis gastrointestinales, la mayor carga anual de infecciones respiratorias agudas virales, la presencia precoz de bacterias en el tracto respiratorio y digestivo, además de los deficientes niveles de higiene en estas poblaciones. El conjunto de los factores anteriores existen en mayor o menor grado en los centros que participaron en ISAAC América Latina y sin embargo, la prevalencia de asma es elevada, o por lo menos semejante a varios países desarrollados en los cuales

estos supuestos factores protectores, son mínimos o no existen (27).

En general, el fenómeno de la contaminación atmosférica característico de las grandes urbes, se relaciona con un abanico de efectos agudos y crónicos de consecuencias graves para la salud. En relación con las enfermedades del aparato respiratorio, estas emergen como un problema de salud pública a mediados del siglo pasado, producto del empleo de combustibles fósiles en el transporte, la generación de energía y otras actividades humanas (28).

Ante respuestas no disponibles a cuestionamientos relacionados con posibles agentes aéreos como productores de procesos alérgicos en individuos residenciados en la ciudad de Caracas para la década de los ochenta, estimuló la consolidación de equipos de investigación en las áreas de inmunología clínica, meteorología, palinología, taxonomía de plantas y hongos, micología ambiental, contaminación y química ambiental. Se estructuró un proyecto modelo por fases (I, II y III) de investigación, con el fin de relacionar los principales contaminantes presentes en la atmósfera del valle de Caracas y sus efectos en la población de riesgo.

El objetivo de esta investigación, es el determinar la posible influencia de los contaminantes ambientales atmosféricos (material particulado y gases) y sus efectos en la aparición y exacerbación de enfermedades alérgicas a nivel del tracto respiratorio, principalmente en pacientes que sufren de asma en la ciudad de Caracas.

Los resultados de este proyecto, permiten consolidar el “Primer modelo de estudio interdisciplinario e interinstitucional para contaminantes atmosféricos en el valle de Caracas y sus efectos en pacientes alérgicos”, al identificar los principales contaminantes aéreos presentes en el ambiente urbano y sus efectos en las vías respiratorias, adicionar nuevas políticas de prevención que puedan ser proyectadas a través de una red de vigilancia médico-ambiental, con el fin de disminuir la frecuencia de estas entidades clínicas en nuestro medio tropical.

Esta publicación incorpora al final glosarios por especialidad de la temática abordada en cada una de las fases, para una mejor comprensión del lector no familiarizado con las diferentes áreas de investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### FASE I

La primera fase del proyecto sobre el “Primer

modelo de estudio interdisciplinario e interinstitucional para contaminantes atmosféricos en el valle de Caracas y sus efectos en pacientes alérgicos”, se aprobó en el antiguo Centro Nacional de Referencia en Inmunología Clínica (CNRIC), actual Instituto de Inmunología (IDI) y Centro Colaborador para la Organización Mundial de la Salud (WHO/PAHO-SAS-UCV) desde 1980 a 1985. La investigación fue subvencionada por CONICIT, proyecto S1-1373.

Se estructuró el primer equipo multidisciplinario de investigación aerobiológica de la ciudad de Caracas, conformado por: Dra. María Salgado Labouriau (palinóloga del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas), Lic. Raúl Valenti (biólogo de la Universidad Central de Venezuela, UCV), Ing. Fernando Álvarez y Amador Hernández (meteorólogos, Facultad de Ingeniería, UCV), Lic. Mario Guariglia (mocológico, Jardín Botánico, UCV), Lic. Diana Bolbochan (biólogo, UCV), Dra. Jeny Genatios (Contaminación ambiental UCV), Lic. Víctor Suárez (biólogo, CNRIC, UCV) y Dra. Doris Perdomo de Ponce (inmunólogo clínico, CNRIC, IDI), quien actuó como coordinadora, con el fin de determinar la frecuencia de los principales aeroalérgenos (granos de polen y esporas de hongos) y su efecto en la población a riesgo.

Para tal fin se diseñó un protocolo de investigación con 5 etapas, de la siguiente forma: a) medición de los principales parámetros climatológicos del área de estudio; b) selección de la estación de muestreo más representativa del valle de Caracas; c) captación, identificación y clasificación de los principales aeroalérgenos durante el período de evaluación; d) elaboración del correspondiente calendario polínico y e) determinación de la respuesta inmediata (IgE) hacia los alérgenos seleccionados en los pacientes procedentes del área en estudio, a través de criterios según área de trabajo.

El área de estudio abarcó toda la zona metropolitana de Caracas, entre los paralelos 10° 24' 10° 33' N y los meridianos 66° 44' 67° 00' W, a una altitud que oscila entre los 800 y 1000 msnm. El área total del estudio fue de 240 km<sup>2</sup>. Este criterio topográfico no varió en las siguientes fases del proyecto.

Los valores climatológicos provienen del promedio de mediciones realizadas en 23 estaciones meteorológicas ubicadas en sitios representativos del valle de Caracas (29), tales como Altos de Noleón, El Jarillo, Macarao, Sabaneta, Montalbán, Caricuao, La Mariposa, Los Palos Grandes, Chacaíto, Catia y Prados del Este. Las determinaciones se realizaron

sobre temperatura (termómetro de máxima, mínima y normales), humedad relativa (termohigrógrafo y psicrometro), viento (anemógrafo), precipitación (pluviógrafo), radiación solar (actinógrafo), estabilidad atmosférica en base a insolación (heliofanógrafo) y nubosidad (observación visual) (30).

A nivel internacional, la colección de aeroalérgenos se puntualiza hacia un área geográfica de interés, con un mínimo de elementos que afecten localmente la metodología. Se recomienda obtener un registro continuo de la atmósfera, en horas, días o semanas. Identificar y realizar un recuento de partículas presentes en el aire o las que son visibles, así como estudiar el grupo taxonómico y sus valores en relación con la pluviosidad (31).

Debido a la dirección del valle de Caracas, de forma alargada y alineado en dirección WNW-ESE, en el tramo correspondiente al área urbanizada, y de los vientos que entran al mismo (SE, SSE y ESE), se escogieron tres sitios de muestreo aerobiológico, para seleccionar una como principal y representativa del valle en estudio: la estación La Carlota, a 85 m de altitud, a 4 m por encima de la superficie terrestre; la estación UCV localizada en los campos internos de la universidad, a 890 m de altitud y a 20 m de la calle; la estación Observatorio Cajigal, a una altura de 835 m y localizada a 25 m de la superficie del suelo. Desde la primera estación a la segunda hay una distancia de 2,5 km y desde la segunda a la tercera, 2 km de distancia. Los criterios para seleccionar los sitios de muestreo incluyeron: buena representación del área, distribución de la vegetación, accesibilidad, utilización de energía eléctrica y la cercanía a una estación meteorológica de primera clase, la cual debe suministrar datos climatológicos continuos de gran importancia.

Se investigaron los tipos de vegetación, entre las vertientes norte, sur y el fondo del valle, se coleccionaron especímenes herborizados que sirvieran como patrones de referencia, para el estudio palinológico, preparándose láminas que se destinaron al laboratorio de aerobiología (UCV), laboratorio de paleoecología (IVIC) y herbario nacional de Venezuela (HNV). Las características notorias de los granos de polen (forma, número, tipo y posición de las aberturas), se observaron con un microscopio óptico y objetivo de 40X, mientras que para los detalles más finos (ornamentación, espesor relativo de las capas de la exina) se utilizó un objetivo de 100X.

Para la recolección de los aeroalérgenos se eligió el método volumétrico de Rotorod (Ted Brown

Associates, Los Altos, Hills, California, EE.UU), Figura 1 (32) y el muestreador Andersen, que son los más recomendables para determinar la abundancia de granos de polen y esporas de hongos, pues no presentan las limitaciones de los métodos gravimétricos de muestreo, Figura 2 (33). Los datos obtenidos por el método volumétrico facilitan la comparabilidad de los resultados a escala internacional (34).

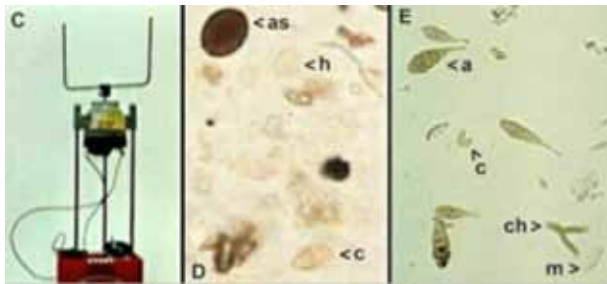


Figura 1. Muestreador Rotorod.



Figura 2. Muestreador Andersen.

La metodología para el proceso de recolección ha sido publicada previamente (35-37). Entre las principales recomendaciones tenemos: colocar el instrumento en una superficie plana de fácil acceso, evitar edificios cercanos que impidan el flujo libre del aire, seleccionar una edificación que represente a la ciudad en su altitud y perímetro, colocar el instrumento en una pequeña torre de ensamblaje con

cierta elevación sobre la superficie de instalación. Es importante evitar la proximidad del captador a fuentes de emisión masiva de partículas, tanto fijas como móviles, de material biológico o no relacionado, para disminuir residuos en la muestra. La existencia de vegetales monoespecíficas en el entorno inmediato podría sesgar la recolección de las muestras para un determinado grupo polínico.

La identificación del polen recolectado por el Rotorod se realizó por comparación con el polen de plantas del valle de Caracas. Para ello se seleccionaron 40 plantas en flor recogidas (2 a 4 flores de cada una para el estudio palinológico) en Caracas y sus alrededores. Los especímenes herborizados y etiquetados, se donaron como archivo del herbario nacional de INPARQUES.

Producto de este material facilitó la preparación de 163 láminas de referencia, destinadas al mismo laboratorio antes mencionado, al de paleoecología del IVIC y para el herbario nacional de Venezuela en la UCV. Se prepararon 56 láminas permanentes con polen recogido por el Rotorod, destinadas a la palinoteca del laboratorio de aereobiología (CNRIC, UCV) (38).

Para describir la forma del grano en vista ecuatorial se utilizó el índice longitud polar / longitud ecuatorial (P/E) (39), modificado (40). Para describir el contorno en vista polar se utilizó la terminología sugerida por Moore y Webb (39) y para el resto de las descripciones morfológicas la de Erdtman (40). Se tomaron fotomicrografías con un foto microscopio Zeiss III, usando película Ilford FP4 blanco y negro. Las características generales de los granos fueron fotografiadas a 40X, con una abertura numérica de 1,0 y optobar de 1,6 ó 2,0, mientras que los detalles de superficies, aberturas y espesores relativos de la pared del grano, se tomaron a 100X, con una abertura numérica de 1,3 y optobar de 1,6 a 2,0.

Con los aspectos más relevantes se produjo un "Atlas ilustrado" con los tipos de polen más importantes y las fotografías obtenidas, utilizando microscopía de luz y electrónica, además de una colección de granos de polen acetolizados y teñidos con coloraciones especiales. Mediante un método cuantitativo computarizado, se evaluaron las posibles correlaciones entre las concentraciones de granos de polen y algunas variables climatológicas. Se compararon con los valores críticos publicados por Rohlf y Sokal (41). Para el estudio de las esporas de hongos se aplicaron métodos estadísticos apropiados.

Para los estudios inmunoclínicos se seleccionaron

40 individuos naturales y residenciados en la ciudad de Caracas, de ambos sexos, entre 18 y 45 años, 20 con criterios internacionales de asma (42) y rinitis (43) y 20 controles sin las enfermedades mencionadas y pruebas alérgicas negativas. Estos pacientes provenían de un proyecto muy estricto para determinar los niveles normales de IgE en distintos grupos etarios, además de presentar positividad a pruebas dérmicas para *Dermatophagoides pteronyssinus*, *Cladosporium*, *Cynodon dactylon* y *Aspergillus*.

Estos pacientes firmaron en forma voluntaria su consentimiento para participar en la experiencia durante doce meses consecutivos. Se sometieron a una evaluación trimestral, que incluía la revisión del diario de los síntomas y los valores obtenidos a través de las mediciones tres veces al día de su capacidad pulmonar con equipo portátil *mini peak flow meter* en su hogar. El criterio de un valor de  $VEF_1$  mayor a 15 %, se relacionaba con diagnóstico de asma (44) y cuanto mayor el porcentaje mayor el grado de severidad.

La IgE total se evaluó con el método PRIST (45) y la especificidad por el método de radioinmunoensayo RAST (46), para los antígenos mencionadas en las pruebas dérmicas (exceptuado el *Cladosporium*), además de *Ambrosia artemisifolia*.

Se les practicaron también pruebas de laboratorio para hematología completa, etiología nasal, examen de heces en fresco y por concentración, realizados por los métodos convencionales conocidos.

Los resultados se analizaron mediante pruebas estadísticas para la comparación de frecuencias (interpretadas según los criterios de Cochran (47), medias aritméticas, medias geométricas, rangos por prueba de U Mann-Withney, coeficientes de correlación de Pearson y de concordancia de Kendall. El nivel de significancia adoptado fue el del 0,05.

## FASE II

La segunda fase del proyecto se cumplió en el Hospital de Clínicas Caracas, en coordinación con el Departamento de Meteorología de la Facultad de Ingeniería y el Centro de Geoquímica, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias (UCV), durante el período 1986 a 2001. Para la ejecución del proyecto no hubo financiamiento gubernamental en las dos primeras instituciones, mientras que en la tercera se obtuvo la subvención del CDCH N° 03.30.01.79.98.

La estructura del equipo multidisciplinario para esta etapa fue la siguiente: MSc. Rhaiza Fernández (químico ambiental, facultad de ciencias), Ing. Amador Hernández (facultad de ingeniería), Dr. F. Pérez Acuña (médico adjunto al Instituto Venezolano de los Seguros Sociales), Drs. Lorena Benarroch y Doris Perdomo de Ponce (inmunólogos clínicos), la última actuando como coordinadora.

La investigación tuvo como objetivos caracterizar los principales contaminantes presentes en la atmósfera de la ciudad de Caracas, tales como partículas totales suspendidas (PTS) y partículas atmosféricas sedimentables (PAS), determinar su concentración y composición, así como la distribución de ciertos metales tóxicos o de compuestos orgánicos, tales como los hidrocarburos saturados (esteranos y terpanos) y poliaromáticos (fenantrenos y dibenzotiofenos como pireno y criseno). Otro de los objetivos fue identificar las características de los pacientes que acuden por enfermedades respiratorias en el perímetro del valle de Caracas, con el fin de determinar el coeficiente de correlación entre su prevalencia y el nivel integral de contaminación por material particulado y tóxico. Finalmente se seleccionó la zona de La Yaguara, al NW de Caracas, con un alto grado de contaminación para validar la metodología de estudio, mediante la determinación de las concentraciones de PTS y PAS, ajustadas de acuerdo a los índices de emisión establecidas por la agencia de protección ambiental (EPA).

Para tal fin se diseñó un protocolo de investigación por etapas de ejecución, según los siguientes criterios: a) topográfico (descrito en la fase I); b) meteorológico; c) urbanístico; d) demográfico; e) contaminantes; f) inmunológico y g) estadístico.

Las variables climatológicas señaladas en la Fase I, se continuaron recolectando en las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio (48), entre los años 1986 y 2001.

Desde el punto de vista urbanístico se dividió el área en ocho zonas según la rosa de los vientos para las variables contaminantes y casos de asma. Para la submuestra de validación de pacientes se seleccionaron individuos provenientes de las cuatro zonas de Caracas, según los puntos cardinales.

Para el aspecto demográfico se tomaron los datos del último censo de población realizado para la fecha. La población alcanzó a 1 200 000 habitantes y una densidad de 13,333 por km<sup>2</sup>.

En cuanto a los contaminantes las PTS presentes

en la atmósfera pueden tener un origen natural o antrópico (producto de las actividades del hombre) (49). Estas son de menor tamaño ( $<60\mu$ ) que las PAS ( $>60\mu$ ). Las PAS y el elemento Pb se estudiaron en los túneles de las autopistas del valle de Caracas (Trinidad, Paraíso, El Valle, Boquerón 1 y Turumo), así como también las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO). Los compuestos orgánicos (pireno, criseno) han sido utilizados como indicadores de fuentes contaminantes, al retirar el Pb de la gasolina (50).

Las muestras de PAS recolectadas en los túneles se filtraron a través de tamices de acero inoxidable (ASTM) que variaron entre 35 y 325 mallas, mediante una metodología publicada previamente (51). La concentración de Pb se determinó mediante espectroscopia de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP) y termogravimetría, siguiendo la metodología internacional (52): Los gases se estudiaron mediante cromatografía y espectrometría de gases (CG-EM)

Para el estudio inmunoclínico, de una población de cien mil individuos atendidos durante el período de estudio en los hospitales del IVSS y el MSAS, se tomó una muestra de 250 pacientes con casos de asma y 250 controles, no asmáticos, con expresiones alérgicas no respiratorias, tales como urticaria, dermatitis atópica o reacciones adversas a alimentos o medicamentos. Ambos grupos se evaluaron con procedimientos *in vivo* (historia clínica, examen físico, estudios radiológicos de tórax, senos paranasales y función pulmonar: VEF<sub>1</sub>, CVF, VEF<sub>1</sub>/CVF) e *in vitro* (determinación de IgE total y específica mediante el procedimiento estandarizado del pinchazo (53,54) ante alérgenos seleccionados del estudio de aerobiología (55) presentes en el valle de Caracas).

El promedio del diámetro de la púpula se midió después de 20 minutos y los resultados se consideraron positivos cuando el diámetro promedio de la púpula fuera de 3 mm (54). Simultáneamente se aplicaron un control negativo del diluyente salino y otro positivo con histamina base 1 mg/mL. Los niveles de IgE total en sueros expresados en UI/mL, se midieron por el método IMMULITE (56,57). Además, a los pacientes se les realizó hematología completa, heces en fresco y orina por los métodos convencionales.

En la zona industrial de La Yaguara se realizó un registro de casos de asma, durante el período de evaluación ambiental, en un hospital de referencia local del IVSS.

Los valores de las PTS procedentes de las cuatro

estaciones de monitoreo de Caracas se analizaron mediante ANOVA y PCA (análisis de componentes principales con el programa MVSP, versión 3.1, utilizado en estudios del medio ambiente) (58). En La Yaguara se aplicó un modelo de difusión (59) para la evaluación de la concentración de partículas en la zona. La asociación entre el número de pacientes ingresados en la emergencia hospitalaria del área metropolitana de Caracas y los niveles de contaminantes se evaluó con el modelo de regresión de Poisson. Con el paquete estadístico SPSS, versión 8.0, se compararon medias geométricas de IgE, coeficientes de regresión lineal y razones de productos cruzados para las diferencias entre los casos y controles.

### FASE III

Las instituciones que participaron en esta fase son las mismas de la fase anterior. La facultad de ciencias recibió apoyo del CDCH (PI-03-00-6050-2005). Con excepción del doctor Pérez Acuña, el equipo multidisciplinario fue el mismo de la fase II.

Los objetivos de estudio fueron: a) análisis del modelo meteorológico entre 1997 y 2005; b) análisis del comportamiento mensual de las PTS, el Pb, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y SO<sub>2</sub> y su distribución espacial, en 4 zonas de Caracas (El Silencio, El Cementerio, Bello Campo y Los Ruices), en el mismo período; c) análisis discriminante con los datos de los casos y controles de asma y rinitis; d) estudio de la asociación entre variables meteorológicas, contaminantes y casos de asma en la zona de estudio.

El modelo meteorológico se analizó en el período mencionado con los equipos convencionales previamente enunciados en las fases anteriores. Se culminó así el resumen climatológico de la estación de la UCV, que incluye datos desde 1973.

El análisis de los contaminantes permitió la evaluación de la efectividad de las medidas adoptadas por la industria petrolera para reducir el contenido de Pb y otras variantes de los combustibles. Se establecieron los niveles de contaminación atmosférica ocasionada por la emisión de los vehículos en las zonas de mayor tránsito del país (MARN-PDVSA 2005) (60).

Se realizaron los estudios sobre la evolución de los casos de asma y de hiperreactividad bronquial, por meses del año, con datos entre los años 1997 y 2005, recolectados con la metodología del economista J. Aparicio en el Hospital de Clínicas Caracas.



Para el análisis discriminante verificado por estadístico F. Chacón, se tomaron en cuenta los datos de la evaluación inmunoclínica integral mencionada en la fase II, a los pacientes atendidos en el mismo hospital, provenientes de los cuatro puntos cardinales del área metropolitana y pertenecientes a los niveles socioeconómicos I y II, de acuerdo al método de Graffar modificado por Méndez Castellano (61). Se obtuvo así la matriz modelo para el diagnóstico de asma y rinitis. Además del cálculo de la lambda de Wilks, el análisis estadístico consistió en la aplicación de pruebas uni y multivariadas (62), algunas de ellas enumeradas en la fase anterior. Se continuó utilizando la versión 8.0 del programa SPSS (63).

## RESULTADOS FASE I

### TOPOGRAFÍA

Otro de los factores analizados en relación al punto de muestreo en la estación La Carlota, es su localización en un aeropuerto local, con un movimiento de tráfico aéreo importante para el momento de la investigación, lo que permitió observar como alteraba el muestreo debido a las turbulencias de aire generadas por los aviones, además del alto grado de contaminación de PTS y humo. La estación Observatorio Cajigal, localizada en el observatorio astronómico de la ciudad, a una altitud elevada, se obtienen evidencias de un número importante de esporas de hongos, en relación con los granos de polen. La estación de la Universidad Central de Venezuela, la cual se encuentra en el centro del valle en estudio, recolecta una amplia variedad de granos de polen y esporas de hongos que se identifican en las otras estaciones de muestreo. La

influencia del Jardín Botánico cercano en el campo de la universidad, no llegó a ser significativo, debido a que la prevalencia en la dirección del viento SE-SSE alcanzaba de forma prioritaria la estación UCV, siguiendo posteriormente hacia el jardín de plantas mencionado. Figura 3.

### PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Las condiciones climáticas durante el período de muestreo coinciden con el análisis de los promedios para los últimos 20 años del valle de Caracas, en el período de ejecución de esta primera fase del proyecto (64-67). A través del análisis del clima, se determina su dependencia sobre diferentes cambios atmosféricos los cuales causan las lluvias en el valle, y al mismo tiempo la conducta anual para la época de estudio en todos los parámetros meteorológicos. Los cambios más importantes son: la invasión del aire frío del norte, las ondas tropicales, la convergencia intertropical, la convergencia de tipo local y la temporada de huracanes. Las montañas causan un efecto de inestabilidad condicional o por el contrario genera una situación de estabilidad con límites altos de humedad por capas, hasta los 1 000 m, generando un tiempo de lluvia prolongado.

La época de sequía se extiende para el período evaluado, desde el mes de diciembre hasta abril, con una contribución de lluvia anual de un 10 %. La época de lluvia cubre los meses de mayo hasta noviembre, con una contribución anual de lluvia que oscila entre 500 a 1 300 mm. Los principales parámetros meteorológicos determinados, se observan en el Cuadro 1.

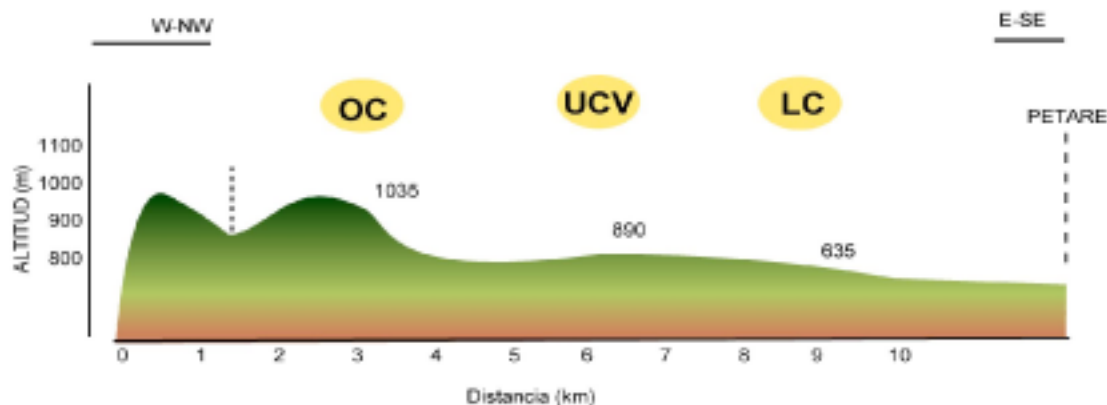


Figura 3. Estaciones de muestreo aerobiológico según la topografía del valle de Caracas.

PERDOMO DE PONCE D

Cuadro 1

Promedio de los principales parámetros meteorológicos en la ciudad de Caracas

	Período de muestreo		Últimos 20 años 1964-1985 (ENE-DIC)
	1984 (DIC)	1985 (ENE-DIC)	
Humedad relativa (%)	78	76,1	77
Temperatura M. (° C)	21,6	22,1 (15,1-30,5)	22,5 (12,3-32,6)
Lluvia (mm)	5	956,2	800 (500-1300)
Dirección del viento	SE/NW	SE/ESE	SE/SSE/ESE
Velocidad del viento (m/s)	1,9	2,1	2,3
Insolación (h)	5,8	6,8	7,3

Las temperaturas elevadas para el período de estudio se producen entre los meses de abril a mayo, y las más bajas durante el mes de enero. El promedio de la velocidad del viento es de 2,1 m, y dirección principal del mismo es de SE, SSE e ESE en un 50 %, NW, NNW y WNW en un 20 %, la calma ocupa un 25 % y otras direcciones un 5 % (68) Figura 4.

**Selección de la estación central de muestreo aerobiológico**

El número de granos de polen obtenido fue similar en las tres estaciones de muestreo seleccionadas en el valle de Caracas, pero en menor cantidad a la

captación de esporas de hongos (69). Las esporas de Cladosporium y el polen de la familia Gramínea con un 63 % del total, representaron los aeroalergenos más abundantes colectados en las áreas seleccionadas. El coeficiente de concordancia de Kendall para los granos de polen fue de 0,834 con 8 grados de libertad y con una P = 0,01. Para las esporas de hongos se obtuvo un coeficiente de 0,625 con 16 grados de libertad y una P < 0,02. Estos resultados demuestran que la colección y el conteo del material particulado en las tres estaciones experimentales no se realizó al azar y existe concordancia entre los resultados de la distribución de partículas de las tres estaciones (Cuadro 2).

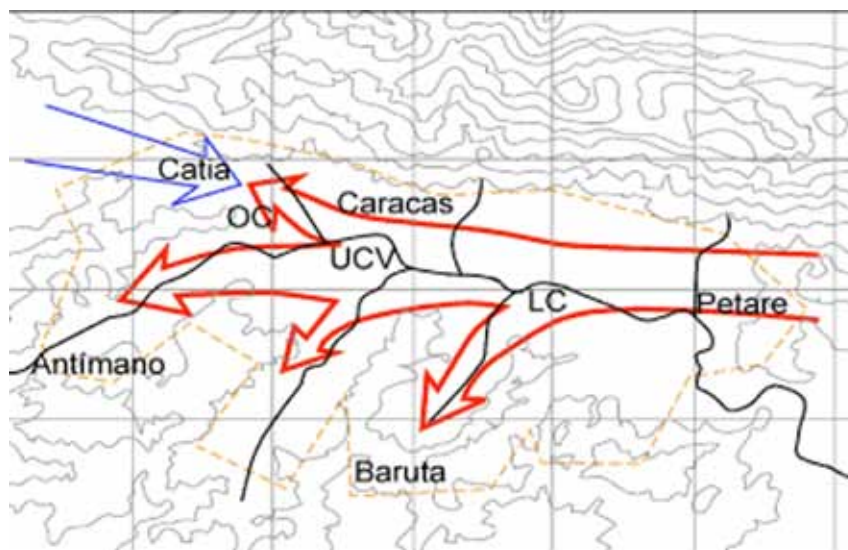


Figura 4. Dirección predominante del viento en el valle de Caracas SE, SSE, ESE (1980-1985).

CONTAMINANTES AÉREOS

Cuadro 2

Distribución de partículas en tres estaciones de muestreo aerobiológico en el valle de Caracas

Polen	Estación La Carlota	Estación Universidad Central de Venezuela	Estación Observatorio Cajigal
Gramineae	88	130	108
Compositae	8	3	10
Urticales 3P	10	17	6
Mimosaceae	12	13	16
Cecropia	13	26	25
Cupressus	4	3	0
Ricinus	6	1	0
Casuarina	0	8	0
Otros (<2 %)	4	14	5
Total	145	215	170
Esporas de hongos			
Cladosporium	100	185	354
Ustilago (?)	140	170	202
Ascospora 2	100	47	50
Ascospora 1	30	16	22
Ascospora 3	25	16	8
Ascospora 4	10	25	47
Lepthosphaeria 1	13	7	35
Lepthosphaeria 2	12	3	28
Basidiospora	9	12	29
Erusyphe	5	3	28
Xylariaceae	7	37	4
Ganoderma	5	40	5
HA59	21	5	29
HA23	2	50	0
HA33	12	0	35
HA57	0	0	19
Otros (<2 % total)	41	34	100
Total	532	650	995

Todo el conteo se expresa en granos de polen/  
m<sup>3</sup>/24 horas

En la obtención del muestreo aerobiológico representativo de la ciudad de Caracas, se tomaron en cuenta los factores que influyen en la producción, dispersión y transporte de aeroalergenos y por ello, el punto seleccionado para la estación central, cumplía con los criterios climatológicos, topográficos y biológicos representativos de la zona en estudio, lo que permitió concluir que la estación de muestreo UCV, coincidía con valores promedio de los exigidos y previamente enunciados, además de los requerimientos internacionales de muestreo aerobiológico (70). La estación UCV, se considera un punto representativo y confiable de la situación

climática y de altura promedio de la ciudad y es susceptible de recibir emisiones de cualquiera de los ecosistemas que rodean la ciudad (71,72).

Con el fin de obtener una ubicación internacional de la zona en estudio y las estaciones de muestreo aerobiológico, se representa el plano geográfico con sus respectivas coordenadas de latitud y longitud en la Figura 5.

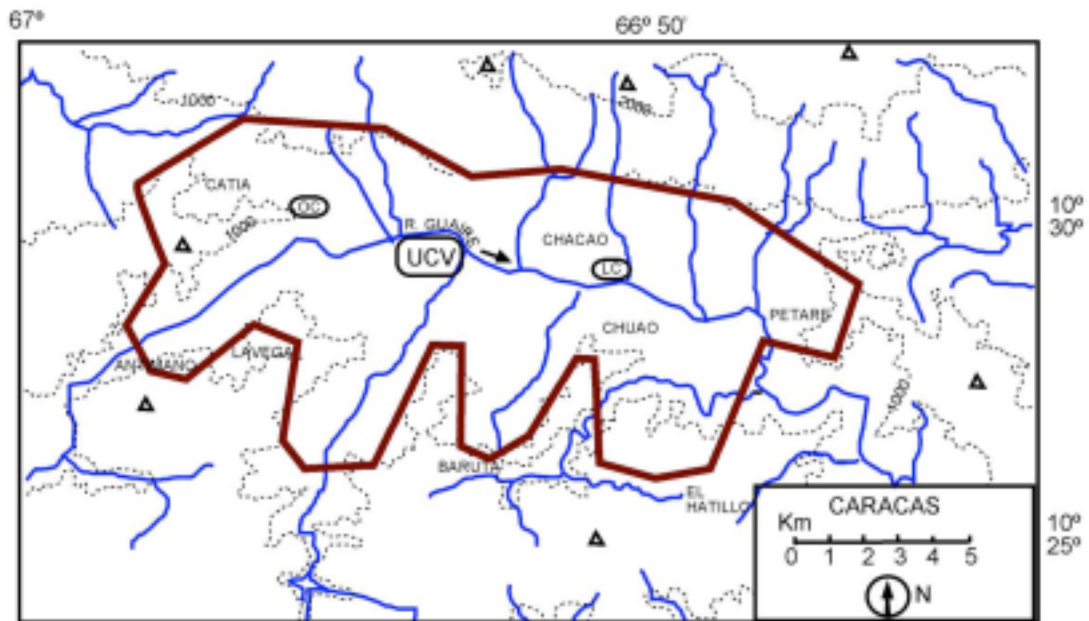


Figura 5. Localización de las tres estaciones experimentales de muestreo aerobiológico en el plano geográfico del valle de Caracas.

## VEGETACIÓN

En las zonas cercanas a la ciudad domina la sabana, el bosque residual y los arbustos. En la zona este se observa una gran extensión de bosque nublado, mientras que en el lado oeste del mismo, predomina el seco y el bosque de maleza o arbustos. Se determina la intervención del hombre en la

gran extensión del bosque de sabana, con áreas de reforestación con árboles exóticos (*Pinus*, *Casuarina*, *Eucalyptus*, *Cupressus*, *Grevillea*). En la zona urbana se observaron plantas cultivadas naturales y exóticas, así como Gramínea y hierbas ruderales. El trabajo de campo efectuado para observar la vegetación del valle de Caracas para el tiempo de estudio de la fase I es representada en la Figura 6.

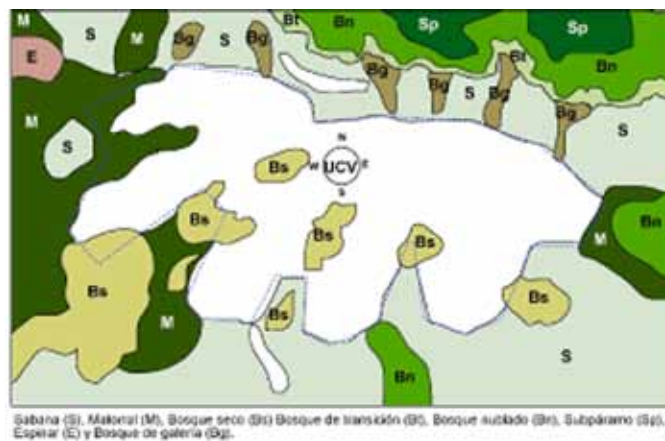


Figura 6. Mapa de vegetación del valle de Caracas (1980-1985).

**AEROALERGENOS (Granos de polen y esporas de hongos)**

El total de 878,1 granos de polen colectado durante el período de estudio, representó el 87 % del total anual. En relación con los granos de polen, los resultados se expresan en unidades de polen o esporas de hongos por metro cúbico por día. La concentración total de polen varía entre 1 a 118 granos/m<sup>3</sup>/día con un valor promedio de 22. En general podemos dividir los resultados del periodo de estudio en tres etapas. La primera corresponde al mes de diciembre hasta marzo. En el mes de febrero los granos de polen captados presentaron niveles bajos que progresivamente se incrementaron a partir del mes de marzo hasta alcanzar su máximo valor en la próxima etapa. La segunda etapa comprende desde el mes de abril hasta el mes de mayo. La tercera y última etapa, mostró valores de concentración de polen similares a los observados en la primera, extendiéndose la misma desde el mes de junio hasta noviembre (Figura 7).

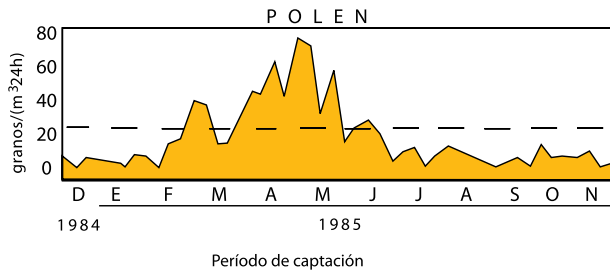


Figura 7. Representación de la curva anual de polen aéreo en Caracas, usando promedios semanales.

La primera etapa se caracterizó por la presencia del polen de *Mimosa*, *Casuarina*, *Cupressus*, *Proteaceae* y *Gramineae* en cantidades similares y con apariciones esporádicas, y la *Cyperaceae*, tipo *Celtis* y *Cecropia*, estos 2 últimos grupos polínicos fueron los responsables del aumento que se produjo durante los meses de febrero a marzo. El polen de la *Cecropia* se convirtió posteriormente en el polen aéreo dominante y solitario hasta el final de la segunda etapa y el inicio de la tercera. Los principales acompañantes del polen de *Cecropia* durante la segunda etapa lo representaron el polen de *Moraceae* y *Ulmaceae*. La mayor frecuencia polínica se observó durante la última semana de abril, con 68 granos /m<sup>3</sup>/24 horas. El polen de las *Ulmaceae* (*T. celtis*, *T. trema*) y *Moraceae* (*Cecropia*, *T. poulsenia*, *T. soroceae*, *T. chiocrophera*) representan el 69 % del total de polen

aéreo colectado, siendo estas familias las responsables más importantes del pico polínico del mes de marzo a mayo. Sin embargo, el segundo pico durante el mes de junio, está principalmente representado por la contribución de *Moraceae* y *Gramínea*.

La tercera etapa se caracterizó por el dominio de *Graminae*, sin que los demás tipos polínicos presentes exceptuando *Cecropia*, fuesen considerados de importancia. Durante el período de colección se determinó la gran contribución de la Gramínea, especialmente durante los meses de noviembre y diciembre, la cual sobrepasó la concentración polínica media anual. En la colección final, no se observó el predominio de la misma, por efectos del viento el cual alejó los granos lejos del perímetro de la estación y sólo se observaron granos de polen de *Ulmaceae* y *Moraceae*, los cuales representaban el 61 % del total captado. Los tres períodos previamente enunciados reflejan un proceso de sucesión polínica. Estos resultados han permitido estructurar las bases del primer calendario polínico de la ciudad de Caracas (73). (Figura 8).

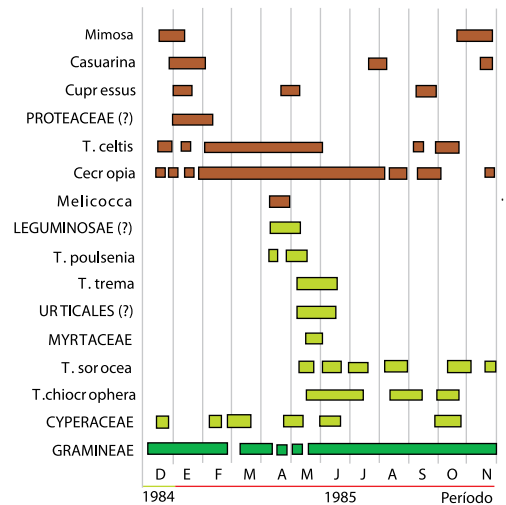


Figura 8. Primer mapa polínico del valle de Caracas. Las barras horizontales indican el período en el cual cada tipo de polen superó el valor de 1 grano de polen/ m<sup>3</sup>/24horas. Promedio semanal.

La mayor proporción de polen capturado en esta investigación corresponde a plantas anemófilas (76 %), comprobándose que las plantas entomófilas mantienen una baja concentración de polen aéreo.

La influencia de los factores climáticos en la producción de polen se pueden observar claramente

PERDOMO DE PONCE D

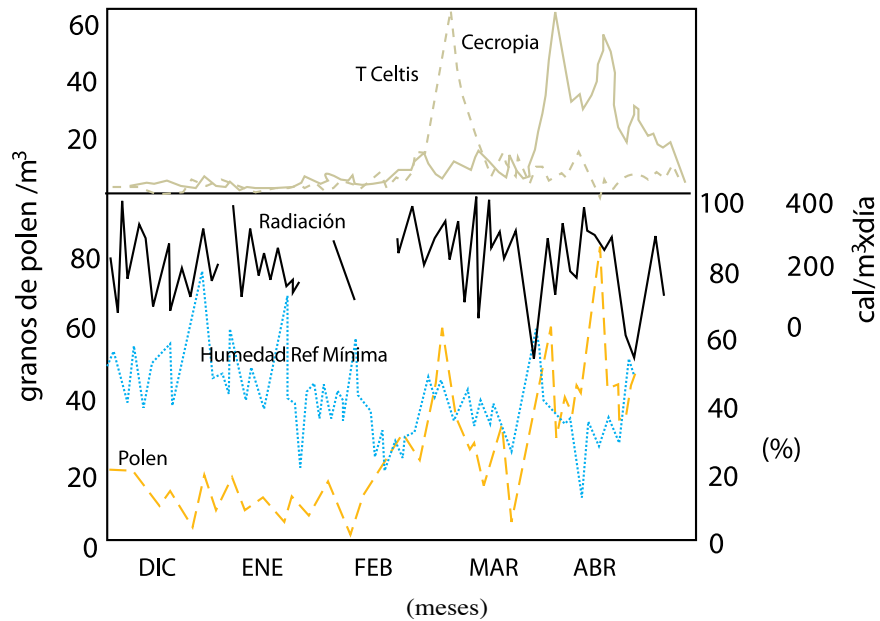


Figura 9. Efectos de la humedad y radiación en la producción de polen.

en la Figura 9 y su correlación con síntomas de rinitis alérgicas en la Figura 10.

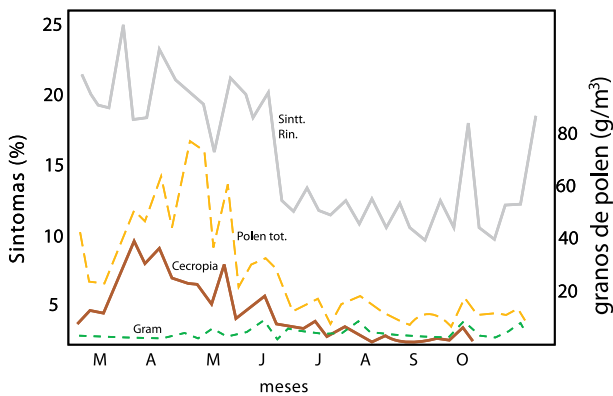


Figura 10. Correlación entre el promedio de granos de polen / m³ y los síntomas de pacientes con rinitis alérgica.

Como ilustración se presenta una lámina (Figura 11) con la caracterización morfológica de granos de polen aereotransportados en el Valle de Caracas, por fotomicrografías tomadas tal como se describe en la fase I, aparte sobre recolección de aéroalergenos. El material utilizado procede de las colecciones de referencia preparadas para este trabajo (material

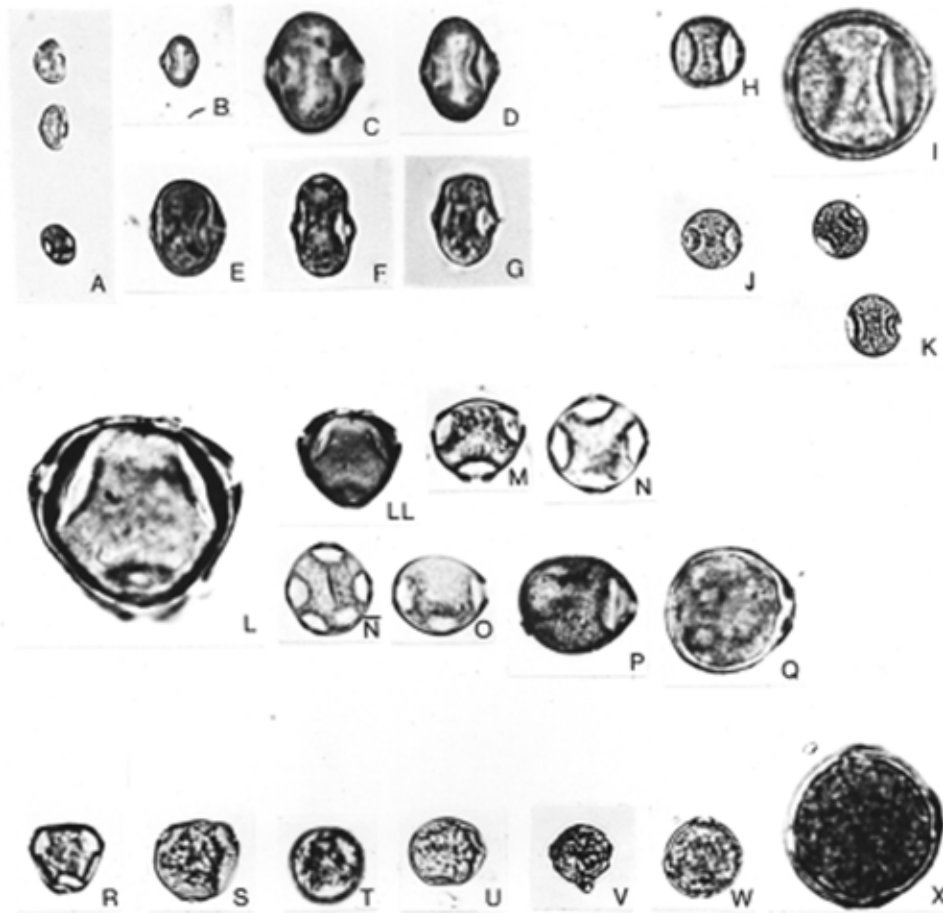
fresco) y de la palinoteca del Centro de Ecología, IVIC (material acetolizado). En la lámina se pueden observar los granos de polen de *Cecropia*, conocida como Yagrumo, que predominó en la segunda etapa.

Las principales familias que muestran la mayor contribución al contenido de polen en la atmósfera se observan en la Figura 12.

**Esporas de hongos**

La concentración máxima de esporas de hongos en el aire de la ciudad de Caracas se determinó aproximadamente en 19 476 /día y un mínimo de 5 282 obteniendo como promedio 10 722/m³ / día similar a la curva observada para los granos de polen. Los hongos iniciaron el año con una concentración de 9 152 alcanzando progresivamente altos niveles a partir de los meses de abril y mayo. El hongo *Cladosporium* contribuyó principalmente en determinar el patrón de concentración total de esporas de hongos en el aire hasta el mes de junio. *Ustilago* tuvo variaciones irregulares y las ascosporas y basidiosporas expresaron una fase de mayor concentración durante los meses de junio a noviembre. De los factores medio-ambientales relacionados con la concentración de esporas de hongos del valle de

CONTAMINANTES AÉREOS



- A- *Cecropia palmatisecta*, MH, obj. x 40/2, vista ecuatorial.  
 B- Tipo *Cecropia*, MR, obj. x 40/2.  
 C- Idem, obj. X 100/2.  
 D,E- Idem. Obj. X 100/1,6.  
 F,G- *Cecropia palmatisecta*, MH, obj. X 100/1,6.  
 H- Tipo *Chlorophora*, MR, obj. X 40/2, vista ecuatorial.  
 I- Idem, obj. X 100/1,6.  
 J, K- *Chlorophora tinctoria*, MH, obj. 40/2.  
 L- Tipo *Poulsenia*, MR, obj. X 100/1,6, vista polar.  
 LL- Idem, obj.x 40/2M,N,N̄- *Poulsenia armata*, MH, obj. x 40/2.  
 O- Idem, obj. x 40/2, vista ecuatorial.  
 P- Tipo *Poulsenia*, MR, obj. x 40/2 vista ecuatorial.  
 Q- Idem, obj. X 100/1,6.  
 R,S,T,U- *Sorocea sprucei*, MH, obj. x 40/2, vista polar  
 V,W- Tipo *Sorocea*, MR, obj x 40/2, vista polar  
 X- Idem, obj. X 100/1,6.

Figura 11. Caracterización morfológica de granos de polen.



## PERDOMO DE PONCE D

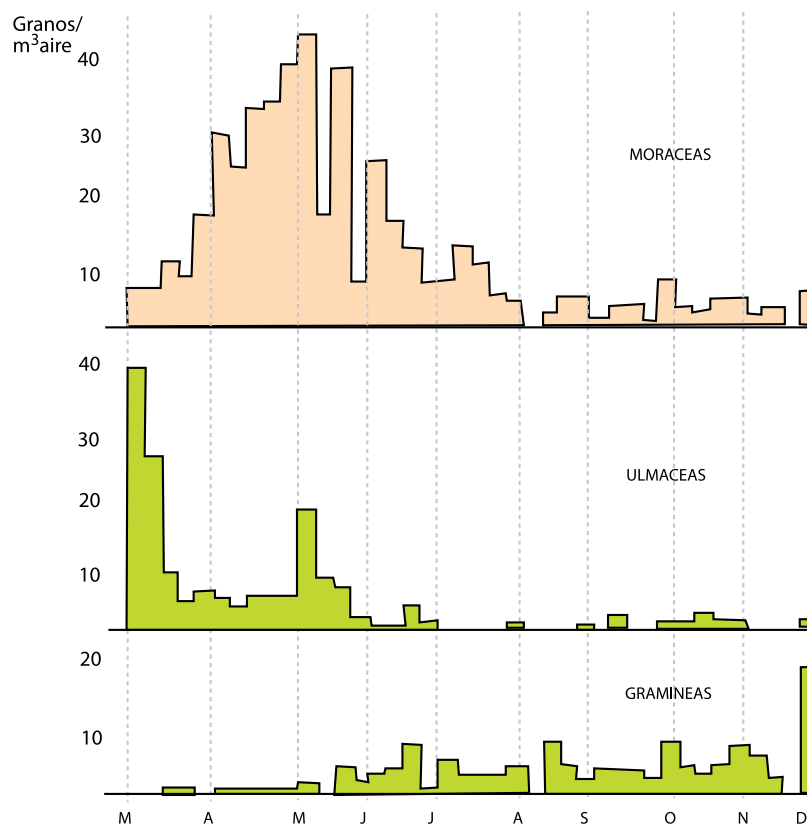


Figura 12. Familias de mayor contribución al contenido de polen en la atmósfera del valle de Caracas Moraceas, Ulmaceas y Gramíneas.

Caracas la precipitación influyó de forma directa, aumentando considerablemente su concentración durante la época lluviosa en comparación con la estación seca (74-76). Figura 13.

En cuanto a los factores meteorológicos relacionados a la concentración de esporas de hongos totales en el valle de Caracas, la precipitación tuvo una influencia significativa ( $P < 0,05$ ) aumentando su concentración durante la época lluviosa en comparación con la de sequía. Figura 14. La correlación con los síntomas de los pacientes con asma a través del año, se puede observar en la Figura 15.

## INMUNOCLÍNICA

El estudio inmunoclínico en los 20 pacientes seleccionados con enfermedades alérgicas respiratorias, no parasitados por helmintos, un 85 % expresaron enfermedad combinada: 17 asmáticos

(6 extrínsecos y 11 mixtos), y 3 con rinitis alérgica persistente. Del total de la población de asmáticos 16 presentaron rinitis alérgica (13 perennes y 3 estacional) y 4 presentaron asma sin otra patología alérgica. Durante la evaluación trimestral los diagnósticos sufrieron cambios en severidad y tipo de variedad, como el asma mixta a extrínseca. Se demostró un patrón de polisensibilización en un 75 % hacia el grupo de alérgenos seleccionados con la siguiente frecuencia, para los más altos valores: *Dermatophagoides pteronyssinus* (84 %), *Pino australiano (Casuarina)* (46 %), *Acacia*, *Cladosporium* y *Aspergillus* (43 %) respectivamente.

Resultados estadísticamente significativos ( $P < 0,05$ ) se observaron al correlacionar: los promedios de codificación de severidad de síntomas, los valores obtenidos a través de la espirometría (descenso del  $VEF_1$  en un 15 %), y promedios de concentración aérea de granos de polen y esporas de hongos, captados durante el tiempo de estudio. Figuras 16 y 17.



## CONTAMINANTES AÉREOS

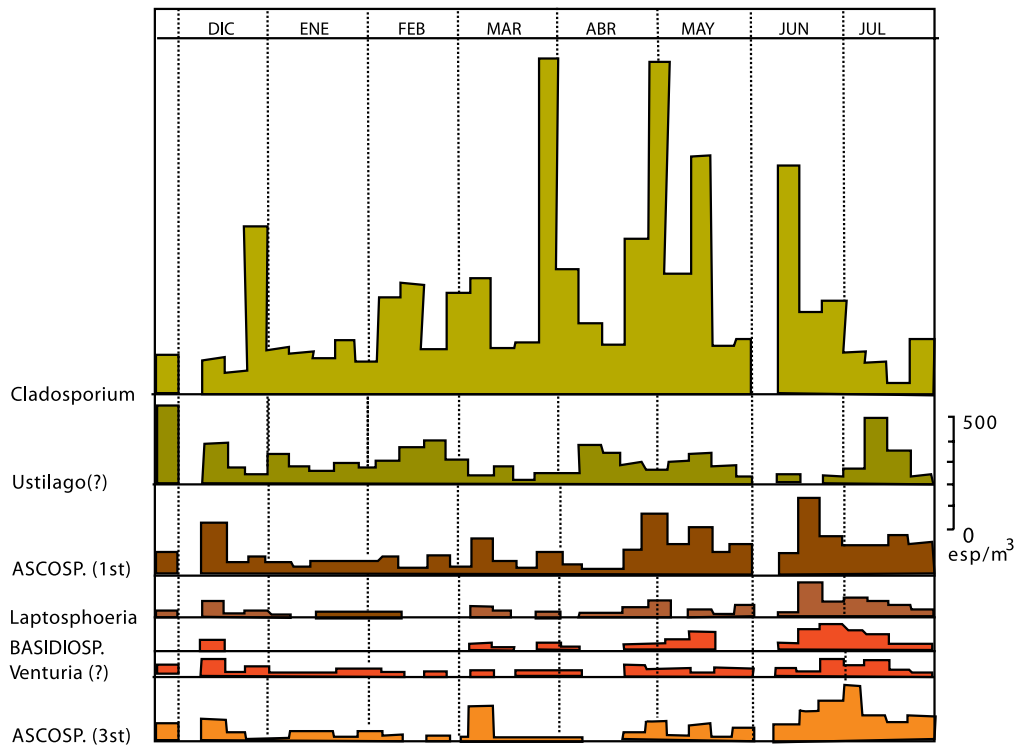


Figura 13. Secuencia y concentración de esporas de hongos por género (lluvia y sequía) captados en el valle de Caracas.

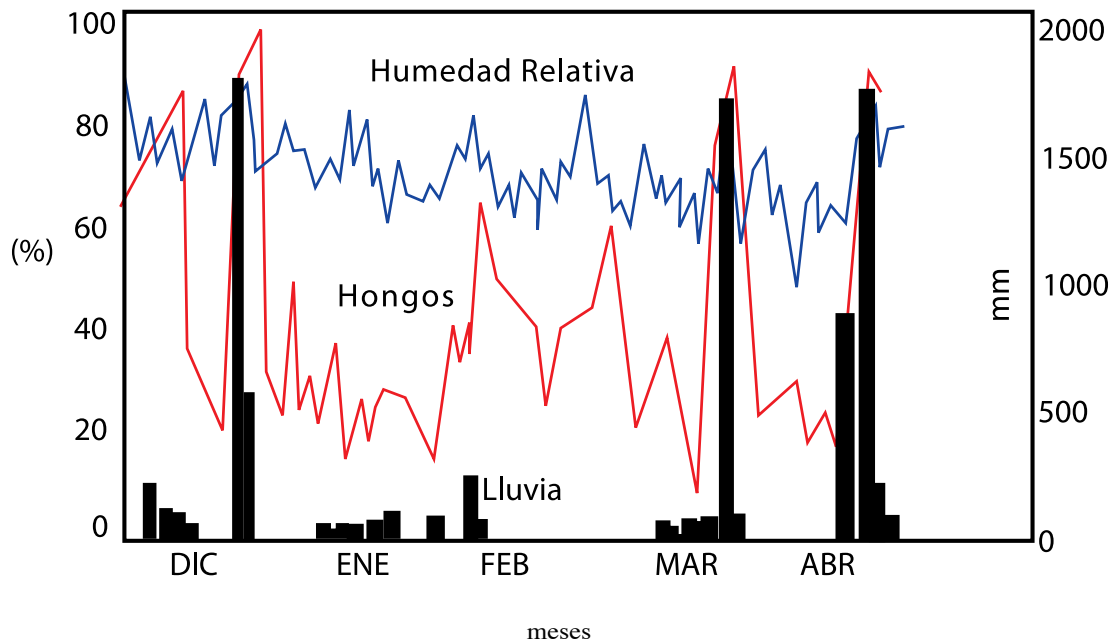


Figura 14. Efecto de la lluvia y humedad relativa en la producción de esporas de hongos totales.

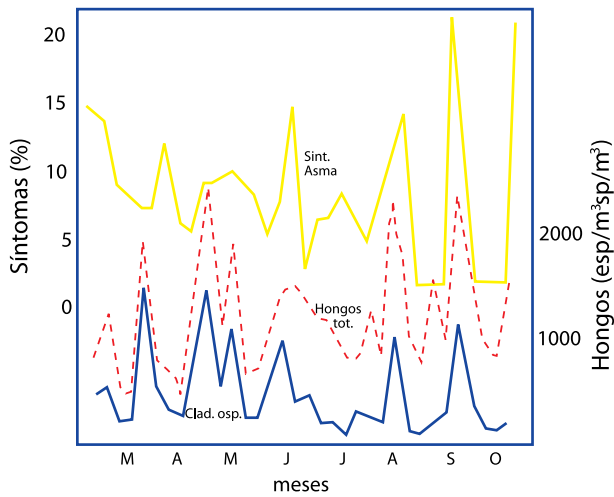


Figura 15. Correlación entre el promedio de las esporas de hongos/m<sup>3</sup> de aire captados y los síntomas de pacientes con asma.

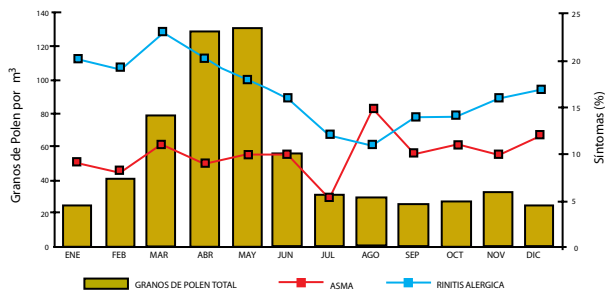


Figura 16. Correlación entre los granos de polen y los síntomas de rinitis.

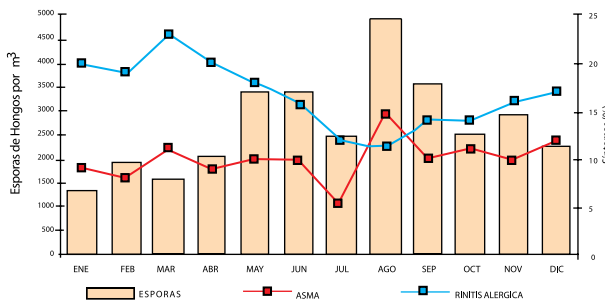


Figura 17. Concentración de esporas de hongos y escala de severidad de síntomas por hongos.

**FASE II**  
**PARÁMETROS METEOROLÓGICOS**

El valle de Caracas ubicado a una altitud de 1 000

m, para el período de estudio presentaba un viento predominante ESE con una media de 1,5 m/s y un rango entre 1,1 a 2,1 m/s. La temperatura media de 21° C con un rango entre 19,2 a 22° C. La misma en un día de sol puede alcanzar hasta 35° C entre marzo a agosto. La lluvia alcanza un promedio de 646 mm (mayo - octubre) en la época lluviosa, en contraste para los meses de noviembre abril de 325 mm. La radiación solar media es elevada 320 a 476 Cal/cm<sup>2</sup> por día en los últimos 15 años. El mayor arrastre de contaminantes se produce entre los meses de diciembre a marzo.

Se obtienen valores medios estables al evaluar las últimas tres décadas, en relación con la temperatura, precipitación, velocidad y dirección del viento. Se determina nuevamente la biestacionalidad climática.

El estudio de la concentración de habitantes por zona del área metropolitana de Caracas, a través del último censo de población, permite proyectar la acción de los contaminantes en la población y su relación con parámetros ambientales, en un radio aproximado de hasta 10 Km, en torno a la fuente de emisión. Se observan isoclinas que representan cada una centena de mil por habitantes. La mayor concentración de la población se encuentra en la zona NNW y ESE del valle de Caracas. Figura 18.

**CONTAMINANTES**

El muestreo de partículas en los túneles provee una oportunidad para analizar compuestos casi en las condiciones de emisión y en concentraciones suficientes para permitir la detección de compuestos imposibles de determinar en las PTS, por lo que se estudiaron previamente las PAS debido a sus bajas concentraciones por los efectos de dilución de la atmósfera. Es la primera vez que se realiza un estudio sobre compuestos orgánicos saturados (esteranos y terpanos) e hidrocarburos aromáticos (fenantreno y dibenzotiofenos, así como pireno y criseno) en este tipo de muestras de partículas atmosféricas y desde el punto de vista del deterioro gradual de la calidad del aire y del incremento en las enfermedades respiratoria en la ciudad de Caracas y Venezuela.

Según lo reportado por Fernández R y col., los cálculos de las diferentes relaciones entre los compuestos esteranos (m/z 217) y terpanos (m/z 191) se realizó tomando el área obtenida en cada fragmentograma (Cuadro 3).

## CONTAMINANTES AÉREOS



Figura 18. Densidad poblacional en el valle de Caracas (1980-1985).

Cuadro 3

Relaciones de los diferentes compuestos para cada túnel

Muestra	Trinidad	El Valle	Paraíso
C21/C22	1,00	1,06	1,33
C27/C29	1,63	1,60	2,80
C29/C30	1,21	1,20	1,20
C23/C23+C30	0,40	0,66	1,20
tt/tp	0,90	1,34	4,22

tt: terpanos tricíclicos; tp: terpano pentacíclico; C23: terpano tricíclico de 23 átomos de carbono; C29, C30 hopanos  $17\alpha(H)$ ,  $21\beta(H)$  ( $m/z$  191); C27/C29: esteranos  $14\alpha(H)$ ,  $17\alpha(H)$  y  $14\beta(H)$  ( $m/z$  217); C21/C22: pregnano y metil pregnano.

El fragmentograma  $m/z$  217 (Figura 19) para la familia de los compuestos esteranos, indica una distribución típica de esteranos regulares con máximo en C27 y sólo en la muestra Paraíso se nota la presencia de esterano pregnano (C21) y metil pregnano (C22) como se observa en el Cuadro 3. En la distribución de compuestos terpanos ( $m/z$  191), se nota el predominio de terpanos tricíclicos en el intervalo C20-C26 en relación con los hopanos o terpanos pentacíclicos. Los autores expresan que los resultados indican una fuente común para estos hidrocarburos saturados, los cuales se asemejan grandemente a aquellos presentes en la gasolina y lubricantes. La fracción aromática también muestra un patrón muy similar para hidrocarburos aromáticos

policíclicos constituidos por alkildibenzotiofenos, pireno y criseno. La distribución de PAHs en las muestras, es similar a la correspondiente en los combustibles tipo diesel, empleados en camiones y camionetas de transporte público.

Para determinar las posibles fuentes de estas series de compuestos de partículas, se analizaron por cromatografía y espectrometría de gases (CG-EM) diferentes muestras de gasolina, lubricantes y diesel utilizados comúnmente por los vehículos en la ciudad de Caracas. La fracción saturada de las muestras diesel están dominadas por compuestos  $\eta$ -alcanos desde  $\eta C_{13+}$ . Por su parte la muestras de lubricantes correlacionan bien con los compuestos esteranos y terpanos.

Estos resultados permiten establecer una correlación en términos de la distribución y tipo de  $\eta$ -alcanos y sus fuentes. Los compuestos dibenzotiofenos (DBT) y el Pb se correlacionan bien con la fracción diesel.

Los valores obtenidos en relación con la composición química y mineralógica de las partículas depositadas en los túneles de las autopistas son representativos de su distribución y expresan la presencia de dos fuentes principales de emisión de partículas a la atmósfera, una natural (Cuarzo, Calcita, Moscovita y Caolinita) y otra de origen antrópico (Pb, Ni, Cu y Zn). El rango de tamaño predominante es de  $43\mu m$  a  $500\mu m$ .

En relación con los resultados obtenidos para el elemento plomo en las muestras de

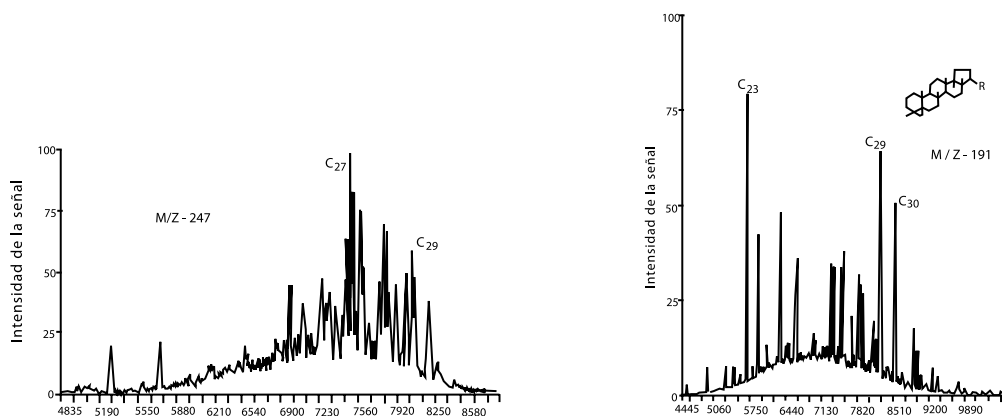


Figura 19. Análisis de la fracción saturada de la muestra Trinidad (Publicado con permiso de los autores, Fernández R, Galarraga F, Benzo Z, Salas J. Caracas, junio 2000).

partículas sedimentables (PAS), estos indican que la concentración para este elemento en las muestras provenientes de cada túnel varía entre 5 500  $\mu\text{g/g}$  y 12 600  $\mu\text{g/g}$ . Los valores determinados son menores que los reportados para las partículas totales suspendidas (PTS) en estos ambientes, lo que sugiere un fraccionamiento del plomo entre estos dos tipos de partículas.

La concentración de Pb asociada a PAS en los túneles, estuvo en el orden de: 12 600  $\mu\text{gPb/g}$  (Trinidad), 5 800  $\mu\text{gPb/g}$  (Paraíso) y 5 900  $\mu\text{gPb/g}$  (El Valle), 12.700  $\mu\text{gPb/g}$  (Boquerón I), y 5 500  $\mu\text{gPb/g}$  (Turumo), debido a que el flujo vehicular (vehículos/día), no era similar en cada túnel (Cuadro 4).

Una vez caracterizadas las PAS, el paso siguiente es estudiar las PTS. Para el período de estudio el Pb resultó ser, el indicador más representativo de la contaminación por el parque automotor en el valle de Caracas. El Silencio ha sido nuevamente analizado entre 1996 a 2005, presentando concentraciones de Pb más elevadas (ANOVA  $P < 0,05$ ). En cuanto al gradiente temporal se encontró que el contenido de plomo no varía de forma significativa en un año, destacando que las concentraciones de plomo han disminuido de forma importante, en los últimos tres años en todas las estaciones de muestreo (ANOVA  $P < 0,05$ ). Figura 20.

En el Cuadro 5, las fuentes principales de emisión de partículas sedimentables provienen de los vehículos automotores y las industrias. Las industrias minerales contribuyen para la época de estudio, con el 28,3 %. En la zona de la Yaguara del procesamiento de

Cuadro 4

Concentración de plomo ( $\mu\text{gPb/g}$ ) en cada extracto y concentraciones promedio para cada túnel

Túnel	B	C	D	Promedio
Boqueron 1	10,775	1,926	Nd	12,701 $\pm$ 886
Paraíso	3,802	1,977	Nd	5,779 $\pm$ 504
El Valle	3,490	1,039	Nd	5,914 $\pm$ 502
Trinidad	12,546	25	Nd	12,571 $\pm$ 850
Turumo	2,877	2,629	Nd	5,506 $\pm$ 412

B: Extracto de HCl 1M

C: Extracto de AGUA REGIA

D: Extracto de AGUA REGIA/HF

rocas y piedras lo genera la fábrica de cemento y Sivensa en la zona aledaña de la Vega). La emisión de partículas en el valle de Caracas, está entre 60 y 250  $\mu\text{g/m}^3$ . Los valores presentan cierta variabilidad de un área a otra según los gradientes temporales, verticales y horizontales. El 10 % de la emisión anual de partículas tienen un diámetro promedio de 18  $\mu$ , determinándose que el 90 % de las mismas, poseen diámetros menores o iguales a 15  $\mu$  y gran parte de ellas pueden penetrar hasta el área de intercambio de gases pulmonares. Se determina una asociación estadísticamente significativa con un  $r=0,75$  entre el reporte de crisis de asma, variables meteorológicas y de contaminantes, coincidiendo los días críticos de broncoespasmo con situaciones anticiclónicas. Figura 21.

## CONTAMINANTES AÉREOS

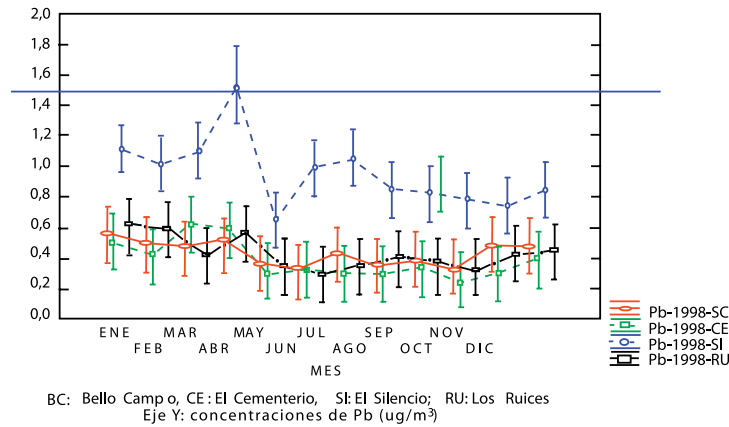


Figura 20. Determinación de la concentración de Pb en cuatro estaciones de muestreo del valle de Caracas (1998).

Cuadro 5

Emisiones anuales de partículas en el valle de Caracas en Ton/año (1958-1998)

Fuente	Partículas Ton/año	%
Vehículos automotores	256,667	38,5
Caldera	20,667	3,1
Generación eléctrica	24,000	3,6
Otras (combustión)	0,667	0,1
Industrias metalúrgicas	68,667	10,3
Industrias minerales (rocas, piedras picadas)	188,667	28,3
Industrias químicas	16,000	2,4
Industrias alimenticias	86,666	13
Industrias misclánicas	4,667	0,7
<b>Total</b>	<b>666,668</b>	<b>100</b>

La evaluación de la zona La Yaguara permitió además, determinar los niveles promedio de partículas sedimentables, por lo que se obtiene una variación inversa a la figura anterior, producto de la densidad y tamaño de las partículas. En consecuencia se generan a nivel de la población de riesgo síntomas de inflamación a nivel del tracto respiratorio, que según el diámetro de las partículas presentan síntomas a nivel de bronquios mayores e intermedios, coincidiendo con el fenómeno de inversión de temperatura. Figura 22.

La concentración de contaminantes en el valle de Caracas, de acuerdo a las zonas de mayor a menor concentración determinada por las mediciones de cinco estaciones de muestreo, se observa en la Figura 23 y la frecuencia de casos de asma en los sectores estudiados en la Figura 24.

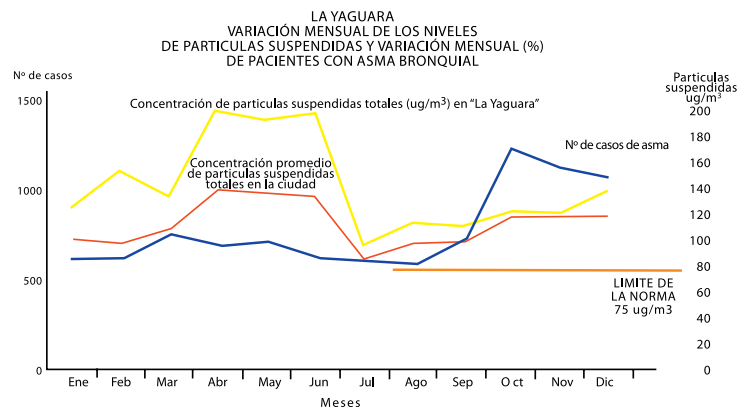


Figura 21. Niveles de PTS y casos de asma mensual en la Yaguara.

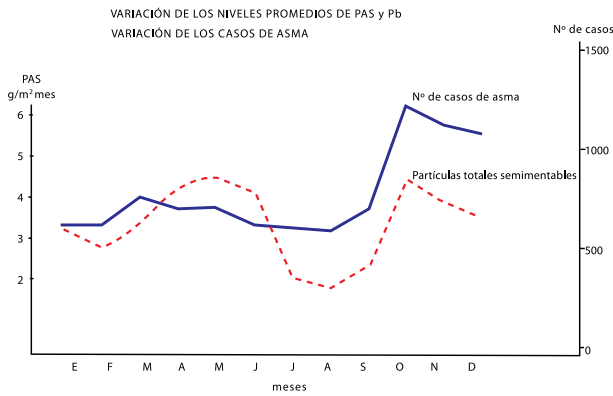


Figura 22. Niveles de PAS y casos de asma mensual en la Yaguara.

**INMUNOCLÍNICA**

Del universo de 100 000 individuos que acuden a los hospitales del valle de Caracas por emergencias durante los años 1991, 1992 y 1993, se determinan los casos de asma, según los criterios diagnósticos (sin utilización de la medida de función pulmonar en las instituciones del IVSS localizadas en las zonas de estudio) La prevalencia de asma para ese período fue de 11,52 % y de la submuestra estudiada de un 14 %.

La media geométrica anual para material particulado en la ciudad de Caracas fue de  $>75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo 1,2 veces más elevado, en relación con los valores permitidos en países industrializados como EE.UU. Se obtienen resultados de valores promedios de PTS anual y por meses (77). Se determina una correlación significativa ( $r=0,80$ ) entre el número de casos de asma con la estación seca, que coincide con la actividad anticlinal generada de la situación anticlinal y que prevalece durante la misma. Cuadro 6.

La evaluación de una submuestra de individuos residenciados en los cuatro puntos cardinales de la ciudad de Caracas, Graffar I y II, que asisten a una consulta privada de inmunología clínica y realización de una prueba de espirometría computarizada, aplicando el valor de  $\text{VEF}_1$  en 12 % o más para el diagnóstico de asma, expresan que un 79,7 % refiere sufrir de patologías respiratorias, de las cuales un 42,3 % corresponde a rinitis alérgica, 14 % asma y un 23,4 % a otras entidades. El principal factor desencadenante de la enfermedad a nivel respiratorio, relacionado con la respuesta del interrogatorio en la historia clínica, es la contaminación ambiental (partículas, humo), seguido por el polvo intradomiciliario. En las pruebas inmunodiagnósticas *in vitro* de los pacientes asmáticos, se obtuvo una media geométrica de IgE total de 87,09 UI/mL, y el grupo control de 38,3 UI/mL.

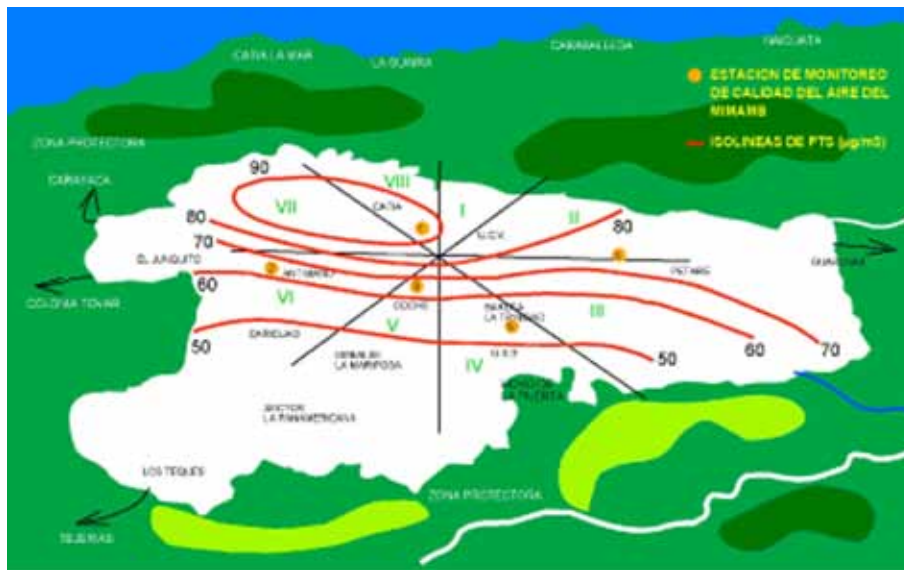


Figura 23. Concentración de contaminantes aéreos según la rosa de los vientos en el valle de Caracas.

## CONTAMINANTES AÉREOS

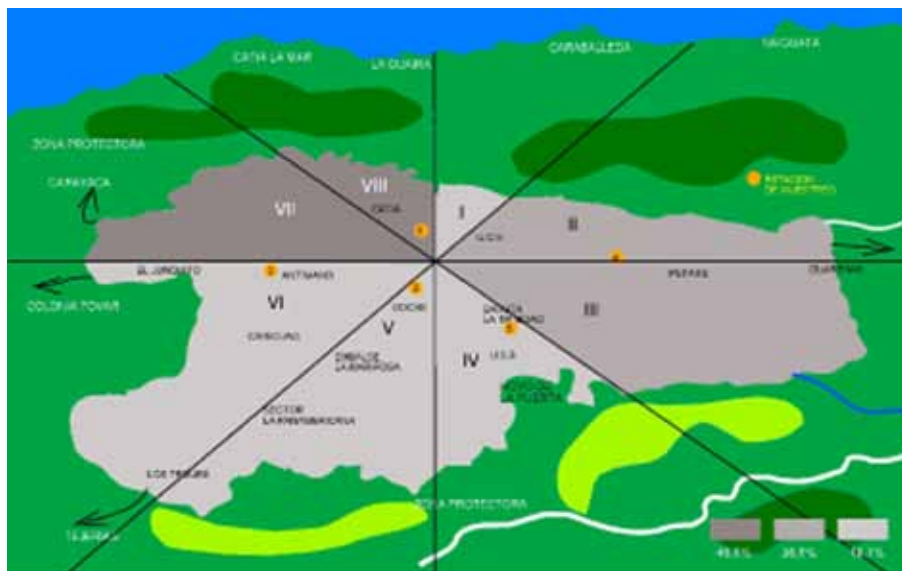


Figura 24. Distribución porcentual de enfermedad respiratoria por sectores en el valle de Caracas (2002).

Cuadro 6  
Relación de partículas suspendidas y casos de asma en el valle de Caracas

Estación Meses	Seca					Lluviosa					Seca D	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O		N
PTS (g/m <sup>3</sup> /mes)	3,6	1,7	4,7	4,0	4,0	3,1	3,0	3,0	4,0	5,7	5,9	6,2
Casos de asma	684	765	933	828	829	774	804	682	804	1357	1337	1139

Los resultados de las pruebas dérmicas para los diferentes aeroalergenos producto del estudio de aerobiología determina que el *Dermatophagoides pteronyssinus* (ácaro intradomiciliario) obtuvo la mayor positividad (88,8 %) y el *farinae* (62,5 %). En relación con las mezclas, si al extracto con los alergenos el paciente expresaba positividad, se colocaron posteriormente pruebas dérmicas con los alergenos individuales correspondientes. Se determinó una asociación positiva entre ambas a través de una prueba estadística no paramétrica T de Kendall para un nivel de significancia  $P=0,00001$ . Este resultado permite realizar una escogencia selectiva de pruebas a un menor costo y con un mayor beneficio para el paciente. La secuencia de reactividad se determinó de mayor a menor: para los inhalantes, polen de árboles, gramas, grama de Bermuda, arbustos

y hongos. Los alergenos individuales, expresaron la siguiente frecuencia: pino australiano (*Casuarina*), grama de Bermuda, *Acacia* y el *Cladosporium*, con la mayor expresión de reactividad, muy similar al estudio de la fase I. La secuencia de resultados para las proteínas alimentarias, es la siguiente: clara de huevo, leche de vaca total, mariscos, pescados, soya, y trigo.

En la zona de la Yaguara, el total de procesos respiratorios se determinó en 70 829 casos, equivalente al 45,5 % del total registrado en la ciudad de Caracas, lo que alerta como zona de contingencia regional. Se establecen las bases para la aplicación del primer sistema de control médico - ambiental para la ciudad de Caracas, hecho que beneficiará en la prevención y control de enfermedades respiratorias de la población a riesgo (78).



**FASE III  
RESULTADOS  
MODELO METEOROLÓGICO**

Una proyección del clima, es la respuesta del sistema a escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y aerosoles, que resultan del futuro crecimiento demográfico, económico y tecnológico en las distintas regiones del mundo; proyecciones que están sujetas a diferentes grados de incertidumbre. Se presenta un cuadro climatológico promedio de Caracas (1973-2005), en el cual se observa el comportamiento promedio mensual y anual para cada parámetro meteorológico. Estos valores representan un modelo climatológico, que va a servir a la vez para detectar las variaciones anuales del clima. Es decir, que se nota que hasta el año 2005 la temperatura media era de 23° C y la precipitación media de 971 mm/año. Sin embargo, de acuerdo a los valores promedio hasta el año 2008 se registran ciertos cambios a nivel de la temperatura media con valores de 23,7° C y la precipitación media de 1014 mm/año.

Estas variaciones en promedio, nos permiten vislumbrar que el efecto invernadero está presente y es notorio correlacionándose con lo que indica el Informe preliminar para el Calentamiento Global (IPPCG) y versión Venezuela del Programa internacional de cambio climatológico (IPPC) (78). Cuadro 7. En los corchetes se indican los aumentos promedio de precipitación y temperatura desde el año de 1965 a 2005 expresado con el símbolo delta. La causa se debe al cambio climático.

El segundo modelo está fundamentado en la dispersión de partículas contaminantes en un radio de 6 Km, cercano a la fuente de emisión. La representación del flujo de la partícula es tridimensional (largo, ancho y profundo). A través de la ecuación de difusión gaussiana, supone lo siguiente: Primero, que las fuentes de contaminantes son transversales e infinitas al viento y segundo, que los contaminantes alcanzan hasta el tope de mezclas (inversión de temperatura). Este modelo determina la disposición espacial y temporal de cada uno de los parámetros contenidos en el modelo. El resultado, es correlacionado posteriormente con el parámetro epidemiológico. Figura 25.

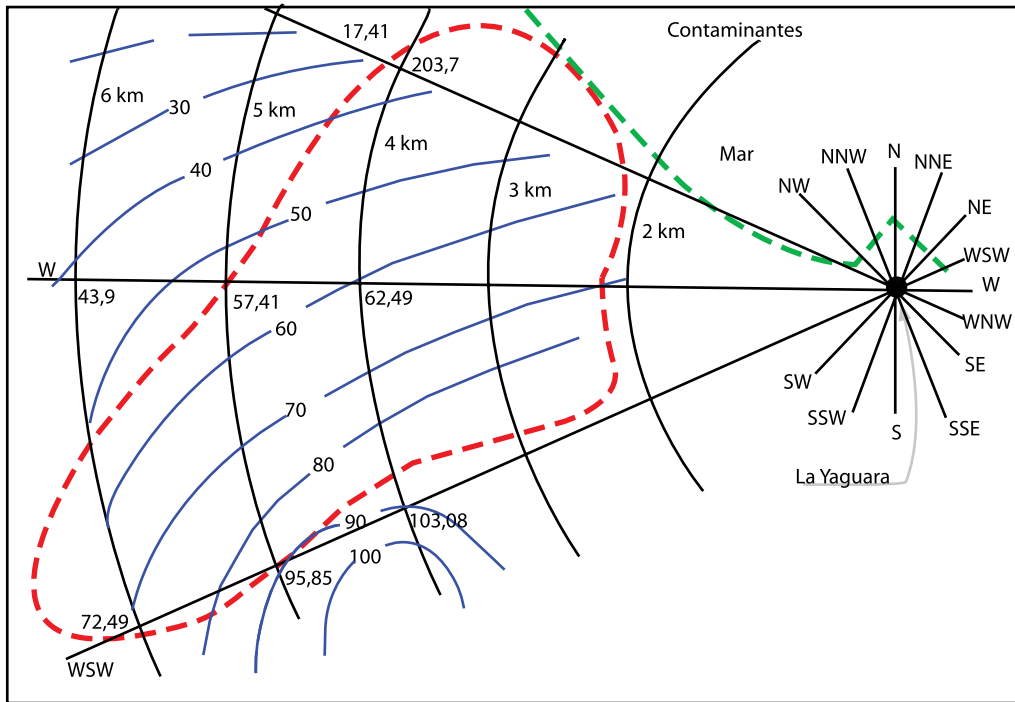


Figura 25. Modelo de difusión gaussiana aplicado para la zona seleccionada de La Yaguara.



# CONTAMINANTES AÉREOS

Cuadro 7

Estudios climatológico estación UCV. Promedio 1973 - 2005

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
**RESUMEN CLIMATOLÓGICO**  
 ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA: U.C.V (D539)  
 Dpto. de Meteorología e hidrología Promedio 1973-2005

Situación	Latitud: 0°29'41"N
	Longitud: 66°53'12"W
	Altitud: 884.54 msnm

Elemento Meteorológico	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Temperatura C	21,6	22,0	23,2	23,8	23,8	23,8	23,1	23,4	23,6	23,2	22,8	22,2	23,0
Media	34,3	34,4	35,2	34	33,3	32,5	31	33,2	33,3	33,1	32	31,3	35,2
Max. Absoluta	8,4	9,9	11,8	11,2	14	16	13,9	13,6	14	13,4	12,6	9,8	8,4
Min. Absoluta	73	73	71	74	72	74	77	76	74	79	81	78	76
Humedad Relativa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Max. Absoluta	10	10	3	4	8	8	8	8	17	5	27	27	3
Min. Absoluta	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,9	1,4	1,5	1,5	1,2	1,4	1,7	1,7
velocidad Media													
M/S													
Direc.Preval	SSE/NW	NW/NW	NNW-SE	SSE-NW	S-SSE	S-SSE	S-SSE	S-SSE	SSE-SE	SE-NW	S-SSE	S-SSE	SSE-SE
insolación horas media/día	6,5	7,1	7,5	6,3	5,4	5,5	5,8	5,6	6,3	5,8	5,7	5,8	6,1
precipitación (mm media/día)	18	15	22	86	87	126	95	119	106	113	126	58	97,1
Radiación	436	447	444	438	425	361	385	402	317	373	370	379	398
Media / día	393	452	427	423	396	437	468	459	455	396	377	380	435
Evaporación (mm/día)	4,6	5	5,1	4,8	3,9	4,1	3,6	4,3	4,8	3,9	3,9	3,9	4,4
	2,6	3,1	3,7	3,9	3,1	2,6	2,6	2,1	2,4	2,2	2	2,1	2,7
Temperatura del Suelo 2 cm	42	60	63	59	56	45	46,5	46,5	46	45	40	41,8	63
	13	15	16,5	18	18,5	20	20	19,5	20	19,2	16,5	15,5	13
Evaporación (solo) total (mm/mes)	109,2	141,2	132,5	147,5	115,5	135,4	130,2	133,2	111	117	91	97,5	1461,2
Promedio horas Calma/Mes	168	137	147	122	118	111	136	141	144	158	157	156	1693

La dirección del viento presenta variaciones en Enero y Marzo: Consecuentemente de la dirección NNW procedentes del ABRA de la Guaira. La velocidad presenta una disminución de un 15 % aproximadamente.

La precipitación aumento en un 15 % (971)

Promedio 1965-1995=>832 mm } Δ =15%  
 promedio 1965-2005=>971 mm }  
 Temperatura promedio 1965-2005=>20,3 }  
 Temperatura promedio 1965-2005=>23,0 } Δ = 0,7 °C  
 Temperatura 23,7 (2005) }  
 Radiación 1965-1995=>41,4 cal/cm2/día } Δ =5%

En Venezuela, es evidente que ya se está sintiendo un debilitamiento de la Convergencia Intertropical (CIT), Figura 26, la cual rige la estación lluviosa y por lo tanto refuerza las situaciones “nortes” o penetración de aire más frío y cargado de humedad relativa; se observan cambios de temperatura que van desde 0° a 28° C en los altos Andes y zonas bajas de las costas.

La zona de CIT es una franja donde convergen los alisios del norte con los del sur y ella sigue la trayectoria aparente del sol hasta unos 23° N y 23° S, pasando por el Ecuador. La época de sequía para Venezuela corresponde a los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo en el viaje de la CIT al sur. La época de lluvia, corresponde a los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, cuando se desplaza hacia 23° N norte. Es evidente que este proceso presenta alteraciones. Se observa que las invasiones del aire polar son más fuertes (deslave en el Estado Vargas) (79) por el debilitamiento de la CIT. También se observa un incremento en el número de huracanes y su poder destructivo en la región del Caribe y golfo de México. Es evidente que el debilitamiento de la CIT, altera la concentración de contaminantes en la atmósfera de Venezuela y por ende en el valle de Caracas.

Las líneas de flujo de aire, presentan nuevas direcciones, durante esta última década. En el plano se representan dos nuevas direcciones de donde sopla el viento para el valle de Caracas, registrado a partir del año 2000. Esto significa que las direcciones SSW y NNE que eran casi imperceptibles antes del

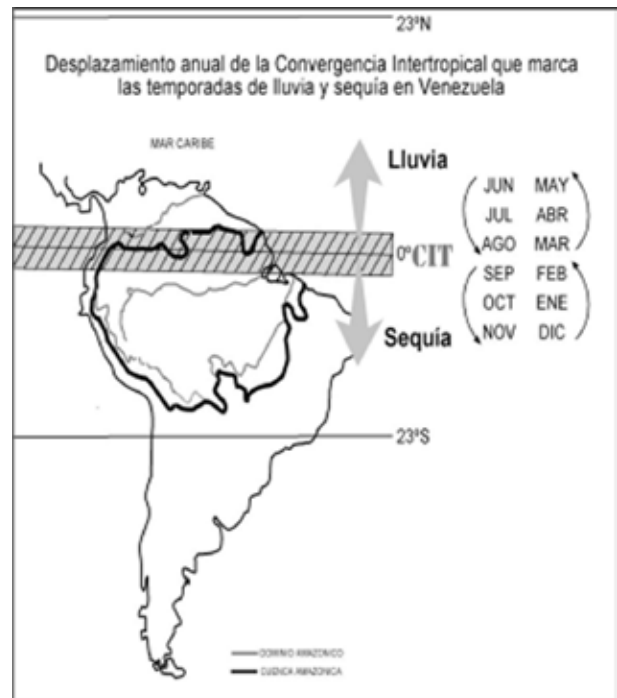


Figura 26. Convergencia intertropical y su movimiento anual.

año 2000, hoy en día principalmente hasta las 8:00 am, presentan una recurrencia más notoria, que son destacadas con flechas gruesas en la Figura 27.



Figura 27. Dirección del viento medido en tres estaciones (2000-2009).

CONTAMINANTES AÉREOS

**MODELO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La Figura 28, describe el comportamiento de los valores de Pb en la estación Bello Campo (MINAMB), donde se ha observado que hay una tendencia contraria a las de PTS (Figura 29), disminuyendo su concentración entre los meses de marzo y junio.

Este comportamiento es observado en las otras estaciones. Esta conducta puede estar relacionada a las características del Pb de ser emitido en partículas atmosféricas muy finas ( $<2\mu\text{m}$ ) por estar asociado a procesos donde son utilizadas temperaturas muy elevadas.

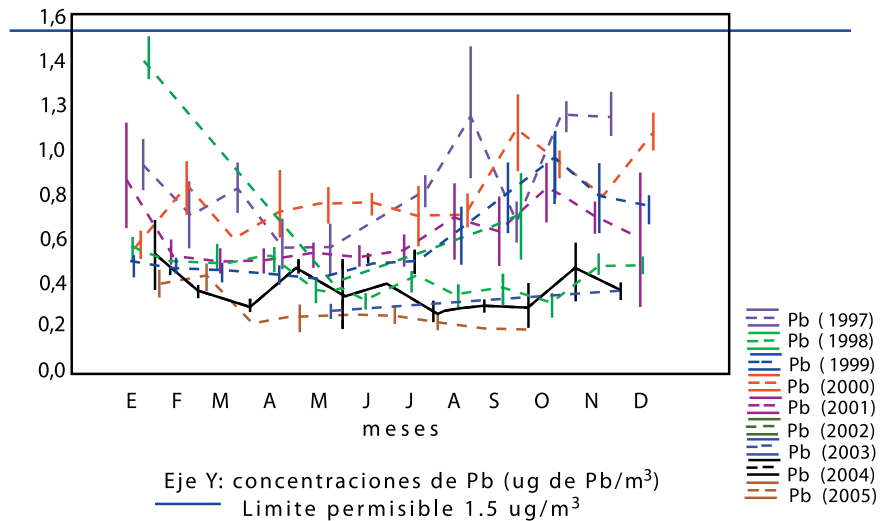


Figura 28. Comportamiento de los valores de Pb en la estación Bello Campo (1997-2005).

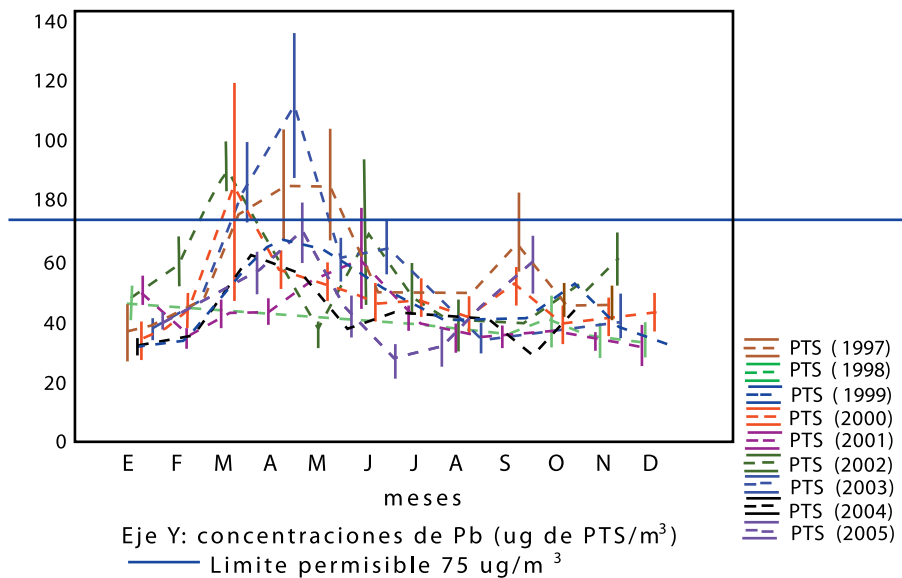


Figura 29. Comportamiento de los valores de PTS en la estación Bello Campo (1997-2005).

### Niveles de plomo y sus posibles efectos en el tracto respiratorio

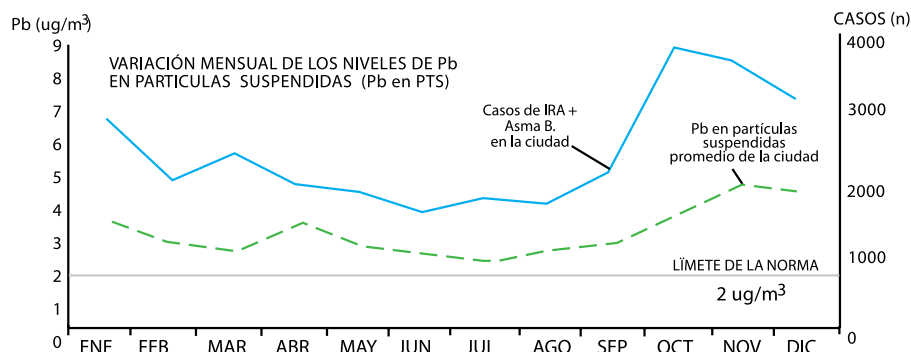


Figura 30. Niveles de plomo (previo a su eliminación en la gasolina) y sus efectos a nivel respiratorio.

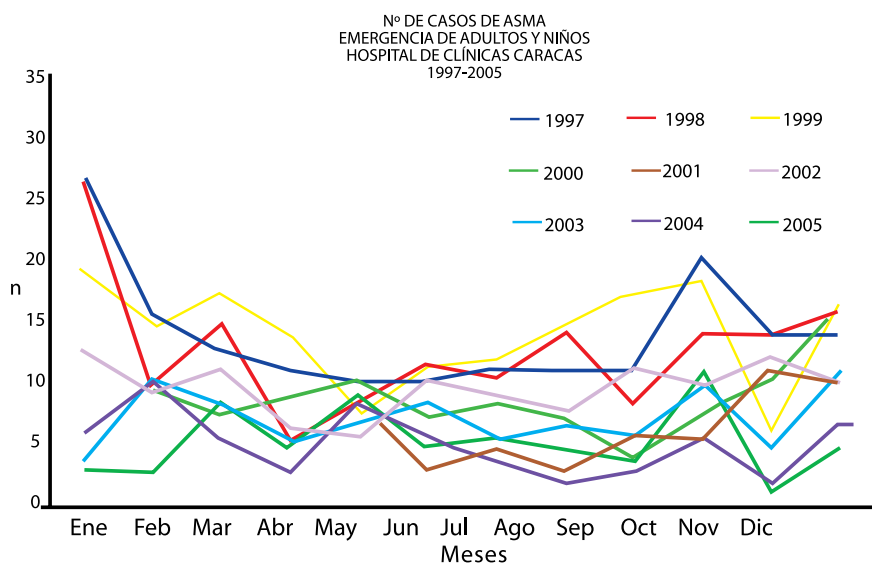


Figura 31. Casos de asma en el HCC (1997-2005).

Se evidencia que los valores PTS tienen una tendencia muy similar en todos los años, con un máximo de concentración entre los meses de marzo a junio, superando los límites permisibles de esta especie en la atmósfera (MARN-PDVSA, 2005); esto sucede también para las otras estaciones. El comportamiento puede ser atribuido a que estos meses representan las temporadas de sequía en nuestro país y de esta manera no son arrastradas o lavadas las partículas de la atmósfera por las precipitaciones, en comparación con los meses de lluvia (Fernández Salinas).

### MODELO INMUNOCLÍNICO

En la Figura 30, se aprecia la correlación entre el número de casos por enfermedad respiratoria y el Pb asociado a partículas, donde el máximo valor corresponde a la actividad anticlinal en el último trimestre del año, lo cual evidencia que las PTS y su composición, guardan relación con las patologías respiratorias. Las Figuras 31 y 32 refuerzan el planteamiento previo, aún con un universo de menor escala.

## CONTAMINANTES AÉREOS

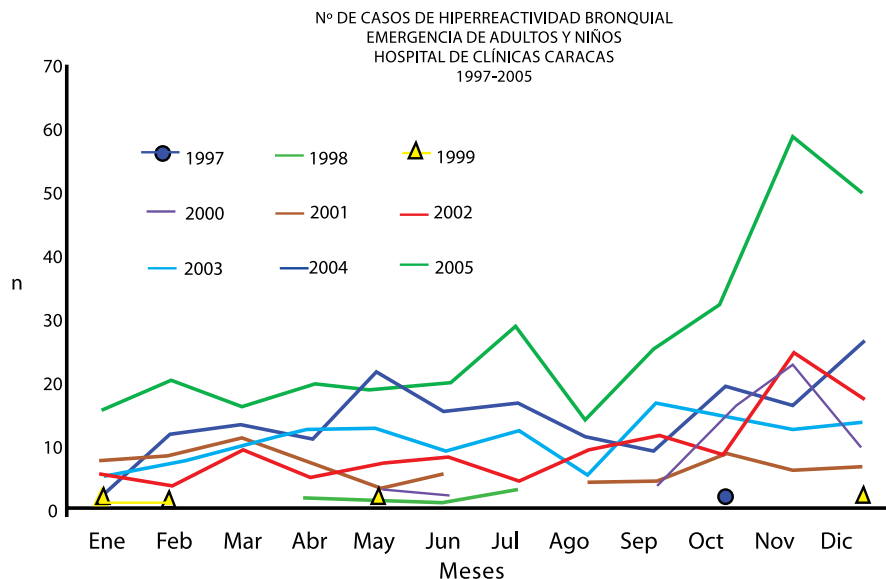


Figura 32. Casos de hiperreactividad bronquial en el HCC (1997-2005).

### Análisis discriminante

Para el trastorno asma, las variables mostraron un grado de asociación estadísticamente significativo igual o mayor del 95 %. Se presentan en orden de

mayor a menor prevalencia, los valores del Chi-cuadrado que indican la robustez de la relación. Salvo que se indique lo contrario se asume que la relación entre la variable independiente y el trastorno es positivo (Cuadro 8).

Cuadro 8

Asociación de variables encontradas en el estudio

Orden	Variable	Chi-Cuadrado*
1	Sibilancias	51,68
2	Prueba de función pulmonar	46,35
3	Disnea	31,34
4	Tos ocasional	29,99
5	Síntomas respiratorios	26,13
6	Broncoespasmo (estimulo risa)	18,98
7	Tos nocturna	16,74
8	Sensibilidad en prueba de piel a <i>D. pteronyssinus</i>	16,63
9	Broncoespasmo (ejercicio)	14,79
10	Sensibilidad a <i>D. farinae</i>	12,09
11	Olores fuertes	9,87
12	Exposición a lugares húmedos	9,25
13	Infecciones previas	7,33
14	Edad (relación inversa)	6,57
15	Sensibilidad a granos de polen	5,54
16	Exposición a material particulado	3,73

\*Asociación > 95 % La lambda de Wilks fue de 0,780, P=0,000 N° de casos válidos: 250

Los resultados demuestran que existen dos fuentes principales de emisión de partículas a la atmósfera, una natural (Cuarzo, Calcita, Moscovita y Caolinita) y otra de origen antrópico (Pb, Ni, Cu, y Zn). El tamaño predominante corresponde a un rango entre 43 y 500  $\mu$ . En la Figura 33, se observa la representación del porcentaje de emisión de partículas por diámetro y la frecuencia de patologías respiratorias a diferentes niveles del árbol bronquial humano. La frecuencia obtenida a través de estudios de prevalencia para asma, hiperreactividad bronquial y rinitis, guardan una relación en porcentajes con el diámetro de las partículas, que existen en la atmósfera de la ciudad de Caracas.

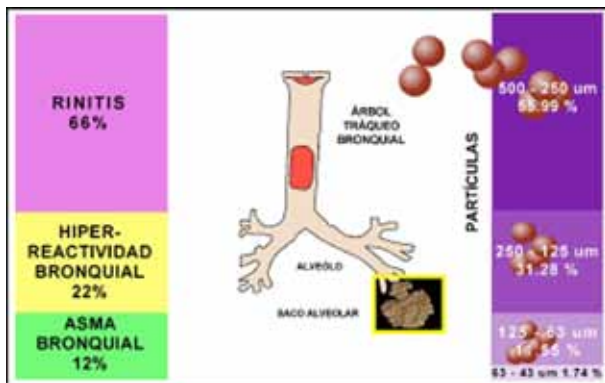


Figura 33. Relación del diámetro de partículas y frecuencia de enfermedades alérgicas respiratorias.

## DISCUSIÓN

Estudios epidemiológicos y experimentales sugieren que los contaminantes atmosféricos son factores y cofactores en el desarrollo de enfermedades a nivel pulmonar. El presente estudio, sobre la estructuración del “Primer modelo de estudio interdisciplinario e interinstitucional para contaminantes atmosféricos en el valle de Caracas y sus efectos en pacientes alérgicos” a través de fases experimentales, ha permitido documentar tres grandes eventos: el primero es la identificación, concentración y dispersión de los principales contaminantes aéreos, el segundo, lo relativo a la interacción entre alérgenos, contaminantes del aire y patrones atmosféricos, y

el tercer evento, los efectos de los anteriores en el tracto respiratorio de individuos residenciados en el valle de Caracas.

Los resultados han permitido realizar un estudio epidemiológico sobre los principales aeroalérgenos y contaminantes presentes en la zona de estudio, el papel de la contaminación y el calentamiento global en la producción de alérgenos naturales, y su relación en la génesis y exacerbación del asma de pacientes investigados.

Nuestros resultados en el área de aerobiología, expresan que los tres sitios seleccionados para el muestreo aerobiológico son representativos del valle de Caracas, sin embargo, la estación UCV se eligió como el punto ideal por su localización y accesibilidad, lo que se relaciona a reportes de determinación de puntos centrales en las principales ciudades de otras latitudes (80). De los 50 tipos morfológicos de polen, reconocidos en la atmósfera del valle de Caracas, se identificaron 37 tipos polínicos, suministrando una fuente de datos para estudios futuros.

En las diversas regiones tropicales se ha observado un predominio de plantas entomófilas, con una baja representación de plantas anemófilas (81). En Caracas se observa un número limitado de plantas anemófilas, hecho que contribuye a evidenciar la causa principal de una baja concentración de granos de polen aéreo captado durante el período en que se realizó este estudio, proporcionando a su vez, dos tercios del polen capturado.

Investigaciones realizadas en zonas tropicales, han mostrado que en estas latitudes no existen, o son limitadas las especies de plantas inductoras de alergia, además de una baja producción en el número de granos de polen. Los niveles de humedad en los trópicos son elevados, al igual que la intensidad de las lluvias, factores que se consideran de interferencia, para la difusión de los granos hacia la atmósfera. En las zonas altas de las montañas tropicales, la producción de granos de polen se ve aún más disminuida, por causa de una baja floración de las plantas en las condiciones climáticas allí presentes (82).

Un estudio realizado en una localidad próxima al valle de Caracas con una mayor altitud (1500-1600 msnm) (83), determinó diferencias en la frecuencia y tipos polínicos captados (*Artocarpus*, *Prosopis*, *Chrysanthemum*, *Miconia* y *Polygalaceae*), además de la ausencia de otras variedades diferentes a las captadas en las ciudades, lo que obedece esencialmente a que

están involucrados habitats ecológicos diferentes, debido a que estas plantas crecen sólo en las montañas que circundan el valle motivo de nuestro estudio (84).

En la regiones tropicales las especies en particular tienen un período de floración característico, manteniendo niveles de polen total de la familia a medida que la estación de floración progresa (85). Esta situación se refleja en los recuentos polínicos de la ciudad de Maracaibo (86) y en Caracas, en las cuales, las Gramineas y Urticales están presentes durante todo el año. Se han encontrado dos especies de gramíneas *Axonopus pulcher* y *Melinis minutiflora* que difieren con el resto de los géneros en la época y longitud del período de floración, comportamiento relacionado con factores ambientales tales como precipitación y longitud del día (87).

El predominio de polen del árbol de *Cecropia* (Yagrumo), durante los meses de abril a junio, coincide con la estacionalidad demarcada para la familia Moráceas en la zona sureste de Estados Unidos, así como para la familia *Ulmaceae*, desde el mes de febrero hasta el mes de mayo (88) representada en este estudio por el polen del árbol tipo *Celtis* (Marinisa, uña de gavián), y la presencia de una única estación polínica para el género en particular de la *Melinis minutiflora*. Estas evidencias, permiten delinear la presencia de un registro de mayor frecuencia polínica, lo que demarca un concepto de estacionalidad específica para estos tipos de polen y a su vez enunciar la presencia de la poliestacionalidad tropical, caracterizada por la superposición de estaciones polínicas individuales durante un período en particular.

La correlación estadística entre la concentración de polen aéreo y los parámetros atmosféricos durante el período de captación aérea, demuestran la presencia de un componente estacional mixto para la ciudad de Caracas. Este componente a su vez, está constituido por la presencia de períodos definidos de una aislada, elevada y significativa prevalencia polínica (estación individual) y por períodos combinados constituidos por la superposición de curvas individuales de prevalencias polínicas (poliestacionalidad).

Las esporas predominantes en este estudio son: *Cladosporium*, *ascosporas*, *Ustilago* (?) y *basidiosporas*, además de 35 tipos adicionales de baja concentración observadas en las muestras. Similar a estudios reportados en la mayoría de los países de Europa (89) y de América (90), el *Cladosporium* es relevante por su alta concentración, alcanzando un máximo hasta de un 81 %, considerándose a las esporas de este género como las principales responsables de

las oscilaciones en la concentración total de hongos captados en el valle de Caracas; lo que difiere de investigaciones previas en la región de Maracaibo por posibles diferencias geográficas y ambientales relacionadas con la época de muestreo y coincidiendo con la mayor abundancia de este hongo en lo reportado para la zona montañosa al sur del valle de Caracas por Hurtado I.

Elevadas temperaturas y baja humedad relativa observada en Caracas, durante el período de muestreo se correlacionó con la presencia de *Cladosporium*, durante la estación seca y viceversa en relación a las *basidiosporas*.

Nuestros resultados demuestran la importancia del polen de *Casuarina*\_(Pino Australiano), Gramineas y esporas de *Cladosporium* y *Aspergillus fumigatus* como los alérgenos de mayor reactividad en los sujetos evaluados, así como un patrón de polisensibilización previamente reportado (91). La correlación entre el porcentaje y la intensidad de respuesta hacia las pruebas inmunodiagnósticas y los conteos aerobiológicos locales, han hecho posible la identificación de los alérgenos más importantes en el valle de Caracas, lo que promovió la publicación del primer mapa polínico para nuestra ciudad y a su vez, para una ciudad Latinoamérica (92). El tiempo de polinización se vio influenciado por las condiciones ambientales y su tendencia a ser razonablemente constante por cada período anual de recolección, durante la época de ejecución de esta fase de investigación, observación que coincide con el análisis climatológico de los últimos 20 años, donde se observa que se repite en orden secuencial las condiciones ambientales del área en estudio, con un rango de variabilidad aceptable reflejado en el período de recolección utilizado durante el mismo.

Se evidencian las tendencias de mayor respuesta de hipersensibilidad hacia los alérgenos seleccionados para la evaluación inmunodiagnóstica, manteniendo una relación con la estacionalidad reportada para los grupos de plantas y esporas de hongos más importantes de la ciudad de Caracas (93).

Nuestros resultados sugieren que el patrón de polisensibilización hacia alérgenos intra y extradomiciliarios demostrado en la población alérgica, oculta la reactividad estacional específica, como lo determinamos en los pacientes con rinitis alérgica de variedad estacional y sensibles de manera individual a diferentes granos de polen. La caracterización diagnóstica de perenne, proviene en su mayoría por la sensibilización hacia el

*Dermatophagoides pteronyssinus* y/o esporas de hongos ambientales, asociado significativamente a sensibilizaciones polínicas que pudiesen expresarse de manera estacional, lo que sugiere una posible inter-relación entre el concepto sugerido de poliestacionalidad tropical del ambiente y la polisensibilización antigénica del individuo, así como la estacionalidad polínica individual con la reactividad individual hacia un alérgeno específico y la estacionalidad mixta (conjugación de las variedades estacionales identificadas) con la expresión inmunoclínica de patologías alérgicas combinadas y que a su vez expresan una polisensibilización, con una alta prevalencia en nuestro medio.

En la actualidad se cuenta con evidencias de las consecuencias que el cambio climático está trayendo en las plantas anemófilas (94). Un aumento del CO<sub>2</sub> incrementa la biomasa de las plantas y como consecuencia la producción de polen. El incremento en la temperatura ambiental, estimula la floración precoz y prolonga la estacionalidad polínica, elevando el grado de alergenidad. Por todo lo anterior, se comprende que hay aumento en el número de granos de polen aerotransportados y por lo tanto, van a aparecer y crecer nuevas plantas alérgicas, a las cuales estará expuesto el ser humano.

Según informe de las Naciones Unidas, en la actualidad existen amplias evidencias relacionadas al cambio climático, el cual está modificando las regiones agrícolas, aumentando el nivel del mar, el cambio en el modelo de precipitaciones, el derretimiento de los glaciares y facilitando el desarrollo de enfermedades que estaban prácticamente erradicadas, siendo estos los principales efectos del calentamiento global en América Latina.

Estudios epidemiológicos y de laboratorio han investigado el papel de las combinaciones de alérgenos y contaminantes aéreos como factores desencadenantes de ataques asmáticos, observando que los mismos interactúan en la producción o exacerbación de síntomas, registrándose cambios en las mediciones del VEF<sub>1</sub>. Hemos observado que las tendencias en la frecuencia de casos mensuales por asma o hiperreactividad bronquial reflejan la presencia de otros factores que no se relacionan a los aeroalérgenos, por lo cual ha sido mandatorio investigar los contaminantes en partículas y gases del área metropolitana de Caracas.

Niveles elevados de contaminación del aire ambiental se han asociado con aumentos a corto plazo en la morbilidad y la mortalidad por asma. Las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS,

por sus siglas en inglés), según las establecidas en la Ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés), establecen criterios para seis contaminantes (O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, Pb y MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> [partículas ≤ 10 ó 2,5 micrómetros en diámetro aerodinámico, respectivamente]) (96). Las normas están diseñadas para proteger la salud de todos los grupos susceptibles. Para las personas que padecen asma, SO<sub>2</sub>, aerosoles con ácido sulfúrico y NO<sub>2</sub> pueden agravar síntomas respiratorios a corto plazo.

Nuestros resultados demuestran que de acuerdo a la dirección del viento prevalente y la distribución de partículas según sus rangos de tamaño, el plomo es el indicador de contaminación automotor más representativo para el valle de Caracas, durante la segunda fase de la investigación. Esto se debe, a que aún en Venezuela para esta fase del estudio, se empleaba gasolina con plomo como aditivo. Adicionalmente se observa su presencia lábil, probablemente adsorbido sobre las partículas de carbonato (95).

Los picos de mayor concentración del indicador, guardan relación con el número de pacientes registrados por enfermedades respiratorias en el área metropolitana de Caracas.

La exposición a emisiones de vehículos (tráfico automotor) puede tener un impacto significativo en la función respiratoria de niños y adultos. Un estudio reveló que aquellos niños que residían en un perímetro de 100 metros cercanos a carreteras con un tráfico elevado, tienen tasas significativamente más altas de silbido respiratorio y diagnóstico de asma (96).

La estación de monitoreo de El Silencio en el centro del valle de Caracas, para los años de estudio entre 1996 a 2005, presentó concentraciones de Pb elevadas. En cuanto al gradiente temporal se encontró que el contenido de plomo no varía de forma significativa durante el año, destacando que las concentraciones del mismo han disminuido de forma importante, en los últimos tres años en todas las estaciones de muestreo, por haber eliminado el plomo de la gasolina.

Desde 1997, se han publicado una serie de estudios epidemiológicos en Europa y Japón sobre la incidencia y la persistencia de las enfermedades respiratorias, principalmente el asma, en zonas urbanas con un nivel elevado de contaminantes (97). La mayoría de estos estudios estuvieron centrados en emisiones vehiculares relacionados a las autopistas, sus contaminantes y la relación con los síntomas de asma causados por alérgenos estacionales.



El número de pacientes que acude a los hospitales del valle de Caracas y la submuestra de pacientes asmáticos, expresan una relación significativa entre, la severidad de síntomas por asma con efectos a corto plazo a través de reducciones en el  $VEF_1$  y CVF, con la mayor concentración de PTS y la inversión de temperatura o atrapamiento vertical de partículas, como consecuencia de la situación anticiclonal. Las exposiciones como resultado de emisiones de establecimientos industriales pueden provocar, la sensibilización o el agravamiento del asma.

En Caracas, la fuente antrópica principal corresponde a las emisiones vehiculares específicamente metales y compuestos orgánicos. Se confirma que para el período de estudio, las PTS están enriquecidas con plomo, respecto a las sedimentables, además de observar la presencia de hidrocarburos de tres y cuatro anillos, los cuales por su alto potencial cancerígeno presentan un peligro potencial para la salud de los habitantes del valle de Caracas. El análisis de las partículas depositadas en los túneles y de los combustibles gasolina, diesel y lubricantes, ha permitido evidenciar que los hidrocarburos saturados provienen de las emisiones producto del uso de aceites lubricantes y de la gasolina, mientras que los hidrocarburos aromáticos se asocian a las emisiones de los vehículos que emplean combustible diesel (98).

En nuestro estudio sobre La Yaguara como zona industrial y de uso residencial, presenta una elevada emisión de partículas por épocas, proveniente principalmente del procesamiento de rocas y cemento. Es significativo el número de casos de broncoespasmo y su correlación con parámetros meteorológicos relacionados a situaciones anticiclonales. Las exposiciones debido a emisiones desde instalaciones industriales inducen la sensibilización o una mayor severidad del asma. A pesar de que es limitada la investigación relacionada con la contaminación de alto riesgo del aire y el asma en el ambiente general, se determina un vínculo entre dichas exposiciones y el asma en la zona.

Los resultados obtenidos, a través de los modelos aplicados para contaminantes y enfermedad respiratoria en individuos residenciados en el valle de Caracas, proveen valores de asociación significativa, relacionados al efecto que ejercen los contaminantes en las enfermedades respiratorias de los pacientes alérgicos. La matriz de asma, la cual prepara un modelo inmunoclínico discriminante, multivariable en nuestro medio tropical a través de sus respectivos indicadores obtiene un elevado índice de confianza,

superior al 99 %. Es así, como esta última expresa un gran nivel de confianza por su capacidad de predicción y selecciona la población enferma.

Este estudio realizado en una ciudad tropical, provee información relacionada a la elevada contaminación producto del incremento de las emisiones del tránsito automotor circulante en las principales autopistas del valle de Caracas y su asociación con asma y síntomas causados por aeroalergenos sensibilizantes.

## CONCLUSIONES

Es mandatorio el trabajo en equipo, entre diversas especialidades e instituciones que trabajan en las diferentes áreas involucradas en la contaminación atmosférica y salud respiratoria.

Es significativa la poliestacionalidad de las plantas anemófilas, la cual enmascara la estacionalidad individual, expresa una polisensibilización en pacientes alérgicos y su asociación con la presencia de picos de concentración de contaminantes en el valle de Caracas.

Se reporta el primer calendario polínico del valle de Caracas, considerándose un reflejo fiel de la flora anemófila para la etapa de estudio, con información detallada de los granos de polen que pueden ser causa de polinosis y precisión del período de polinización de cada taxón, permitiendo al inmunólogo clínico evidenciar el diagnóstico correcto y etiológico del paciente en estudio.

Una de las aplicaciones más útiles del mapa polínico, es la de poder establecer una correlación entre los recuentos, la aparición cronológica e intensidad de los síntomas obtenidos a través de la historia clínica, lo que permite la interpretación de las pruebas cutáneas de alergia.

El mapa polínico es de gran utilidad para una mejor evaluación del paciente polisensibilizado, de alta frecuencia en nuestro medio tropical.

Se estructura la primera Palinoteca Aerobiológica del valle de Caracas. La mayor importancia para el médico, biólogo y taxónomo de plantas, es contar con un archivo de todos los granos de polen recogidos y clasificados del valle de Caracas. En esos archivos figuran los datos de las características morfológicas de los granos, la especie a la cual pertenecen, los períodos de polinización y fotografías de los mismos.

Se observa un efecto de sinergismo entre los alergenos y las partículas presentes en el aire de

Caracas, por su respuesta a nivel de la mucosa del tracto respiratorio superior e inferior de pacientes alérgicos, durante períodos de mayor concentración de contaminantes.

La respuesta IgE alérgica específica es evidenciada a través de la evaluación inmunodiagnóstica lo que refleja una producción de citoquinas  $T_H2$  iniciada en el ambiente contaminado.

Es evidente la asociación entre el elevado tránsito vehicular, pacientes que sufren de asma y otras patologías respiratorias en nuestro medio.

La zona seleccionada para un estudio piloto de contaminantes aéreos "La Yaguara" como zona industrial y de uso residencial, reveló ser un área de contingencia durante el período de estudio para la salud de la población residencial en la misma.

Este conjunto de factores, permite concluir que las propiedades de los contaminantes presentes en la atmósfera caraqueña, en especial en las zonas de El Silencio y La Yaguara, se encuentran directamente relacionados con el reporte de la red mundial sobre el aumento en la prevalencia del asma, principalmente por el incremento en el número de vehículos que utilizan gasolina, diesel y aceites lubricantes.

## RECOMENDACIONES

El inmunólogo clínico que evalúa pacientes alérgicos en Caracas, debe estar alerta en relación con los períodos de mayor concentración de aeroalérgenos y contaminantes en la atmósfera según la estacionalidad, con el fin de evitar o disminuir en sus pacientes el inicio de síntomas severos a través de un tratamiento preventivo.

La población debe ser educada y advertida en minimizar su exposición fuera del hogar y pensar en cambios de residencia, hacia lugares menos contaminados y alejados de autopistas o vías altamente transitadas por el parque automotor, en especial los pacientes con enfermedades alérgicas a nivel respiratorio.

Exigir el cumplimiento de las normativas que regulan la emisión de contaminantes en nuestro país.

Trabajar en equipo con una red de vigilancia médico-ambiental, que informe claramente a la población, sobre los riesgos a nivel respiratorio en diferentes zonas de la ciudad, de acuerdo a las fluctuaciones en la concentración de PAS y PTS en el valle de Caracas.

Definir nuevas estrategias de transporte en la

población e incorporar líneas de investigación que permitan disminuir la concentración de contaminantes atmosféricos.

Desarrollar planes de contingencia ambientales y terapéuticos para pacientes de alto riesgo, en las zonas de mayor contaminación ambiental.

Favorecer la incorporación de nuevas tecnologías relacionadas con la respiración de aire puro en la población de riesgo del valle de Caracas, similar a las implementadas con éxito en países desarrollados.

## REFERENCIAS

1. Hegerl GC, Zwiers FW, Braconnot P, Gillett NP, Luo Y, Marengo JA, et al. Understanding and attributing climate change. En: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al, editores. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press; 2007.
2. IPCC 2007: Summary for policy makers. En: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al, editores. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York: Cambridge University Press. 2007.
3. Matthews HD, Caldeira K. Stabilizing climate requires near-zero emissions. *Geophys Res Lett*. 2008;35:L04705.
4. Shea KM, Truckner RT, Weber RW, Peden DB. Climate change and allergic disease. *J Allergy Clin Immunol*. 2008;122:443-453.
5. Parry ML, Canziana OF, Palutikof JP, Adger N, Aggarwal P, Agrawala S, et al. Technical summary. En: Parry ML, Canziana OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hansen CE, editores. *Climate change 2007: impacts, adaptation, and vulnerabilities. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press; 2007. p.23-78.
6. Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: Past and future. *Clin Exp Allergy*. 2004;34:1507-1513.
7. Fitter AH, Fitter RSR. Rapid changes in flowering time in british plants. *Science*. 2002;296:1689-1691.
8. Spieksma FTM, Emberlin JC, Hjelmroos M, Jäger S, Leuschner RM. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities

## CONTAMINANTES AÉREOS

- and the starting dates of the seasons. *Grana*. 1995;34:51-57.
9. Weber RW. Mother Nature strikes back: Global warming, homeostasis, and the implications for allergy. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2002;88:251-252.
  10. Solomon W. Aerobiology and inhalant allergens. En: Middleton E, et al, editores. *Allergy Principles and Practice*. 5ª edición. Mosby: St. Louis; 1998.p.367-393.
  11. Solomon WR. Aerobiology of pollinosis. *J Allergy Clin Immunol*. 1984;74(4):449-461.
  12. Reed CE. The natural history of asthma. *J Allergy Clin Immunol*. 2006;118:543-548.
  13. Mohan JE, Ziska LH, Schlessinger WS, Thomas RB, Sicher RC, George K, et al. Biomass and toxicity responses of poison ivy (*Toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Proc Natl Acad Sci*. 2006;103:9086-9089.
  14. Torres M. La contaminación atmosférica en Venezuela. Seminario Latinoamericano de Contaminación del Aire. Oficina Sanitaria Panamericana, Washington. 1968.
  15. Primera comunicación nacional en cambio climático de Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Fondo mundial para el medio ambiente. 2005.p.25.
  16. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Islam T, Ghunderman WJ, et al. Asthma in exercising children exposed to ozone: A cohort study. *Lancet*. 2002;359:386-391.
  17. Nemmar A, Hoet PH, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation*. 2002;105:411-414.
  18. Robinson DS, Hamid Q, Ying S, Tscopoulos A, Barkans J, Bentley AM, et al. Predominant Th2-like bronchoalveolar T-lymphocyte population in atopic asthma. *N Engl J Med*. 1992; 326: 298-304.
  19. Venkayya R, Lam M, Willkom M, Grunig G, Corry DB, Erle DJ. The Th2-like bronchoalveolar T-lymphocyte products IL-4 and IL-13 rapidly induce airway hyperresponsiveness through direct effects on resident airway cells. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2002;26:202-208.
  20. Broide DH. Immunologic and inflammatory mechanisms that drive asthma progression to remodelling. *J Allergy Clin Immunol*. 2008;121:560-570.
  21. Global strategy for asthma management and prevention. Update from: WHO/NHLBI workshop report: National Institutes of Health, National Heart, Lung and Blood Institute, Publication Number 02-3659; 2002 .p.75.
  22. Cockcroft DW, Davis BE. Mechanisms of airway hyperresponsiveness. *J Allergy Clin Immunol*. 2006;118:551-559.
  23. Wallace DV, Dykewicz MS, Bernstein DI, Blessing-Moore J, Cox L, Khan DA, et al. The diagnosis and management of rhinitis. An updated practice parameter. *J Allergy Clin Immunol*. 2008;122(2):1-84.
  24. Fahy O, Senechal S, Pene J, Scherpereel A, Lassalle P, Tonnel AB, et al. Diesel exposure favors Th2 cell recruitment by mononuclear cells and alveolar macrophages from allergic patients by differentially regulating macrophage-derived chemokine and IFN-gamma-induced protein-10 production. *J Immunol*. 2002;168:5912-5919.
  25. Pawankar R, Baena-Cagnani CE, Bousquet J, Canonica WA, Cruz A, Kaliner MC, et al. State of World Allergy Report 2008: Allergy and Chronic Respiratory Diseases. *WAO Journal* 2008;(Suppl):4-17.
  26. Observatorio del Estudio ISAAC en Latinoamérica. Publicación anual en línea 2009. En [www.respirar.org/Isaac/index.htm](http://www.respirar.org/Isaac/index.htm)
  27. Asthma. Available at: <http://www.who.int/topics/asthma/en/>. Accessed June 9, 2008.
  28. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med*. 1993;329:1753-1759.
  29. Álvarez F, Key S, Klanke A, Guerra A, Convit R. Atlas climatológico de la Cuenca hidrográfica del Valle de Caracas. En: Estudio de Caracas. Universidad Central de Venezuela. Crema Med. Ediciones de la Biblioteca, Caracas; 1983.p.19-25.
  30. Smith E. Grant Sampling and identifying allergenic pollens and molds. Blewstone Press: San Antonio, Tx.; 1990:7-13.
  31. Frenz DA. Comparing pollen and spore counts collected with Rotorod Sampler and Burkard spore trap. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 1999;83(5):341-349.
  32. Nelson HS, Solomon RW. How ill the wind? Issues in aeroallergen sampling. *J Allergy Clin Immunol*. 2003;112:3-8.
  33. Burge HA. An update on pollen and fungal spore aerobiology. *J Allergy Clin Immunol*. 2002;110(4):544-552.
  34. Airborne Pollen and Fungus Spore Identification: Hands-On Workshop, May 21-23, 1990, Postgraduate course from University of Michigan.

PERDOMO DE PONCE D

35. Lacey J, Venette J. Outdoor Air Sampling Techniques, En C.S. Cox, C.M. Wathes, editores. Bioaerosols Handbook. Lewis Pub, Boca Raton, FL; 1995, p. 407-471.
36. Ponce P D. Aerobiología de la Ciudad de Caracas y sus implicaciones inmunoclínicas. Rev Soc Venez Alergia Inmunol. 1992;8(1):3-8.
37. Erdtman G Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. Almquist & Wiksell, Upsala, Sweden; 1952.p.539.
38. Salgado Labouriau ML. Contribucao a palinologia dos Cerrados. Academia Brasileira de Ciencias. Rio de Janeiro. 1972.p.291.
39. Moore PD, Webb JA. An illustrated guide to pollen analysis. Hodder & Stoughton, editores. Londres; 1978.p.5-15.
40. Erdtman G. Pollen morphology and plants taxonomy: Angiosperms. Nueva York: Hafner Publishing Co.; 1972:553.
41. Rohlf FJ, Sokal RR. Statistical tables. N. H. Freeman & Co. San Francisco. EE.UU; 1969.p.253.
42. American Thoracic Society. Definitions and clasificacions of chronic bronchitis, asthma and emphysema. Am Rev Respir Dis. 1962;85:762-768.
43. Conell JT. Quantitative nasal pollen challenges. III. The priming effect in allergic rhinitis. J Allergy. 1969;43:33-35.
44. American Thoracic Society. Definitions and clasificacions of chronic bronchitis, asthma and emphysema. Am Rev Respir Dis. 1962;85:762-768.
45. Haselkor NT, Chipps BE, Miller DP, Lee JH. Skin testing and IgE levels in patients with severe or difficult-to-treat asthma. J Allergy Clin Immunol. 2005;115(2):S124.
46. Hamilton RG, Adkinson NF. Clinical laboratory assessment of IgE-dependent hypersensitivity. J Allergy Clin Immunol. 2003;111(2)Suppl:687-701.
47. Cochran WG. 'Some methods of strengthening the common X<sup>2</sup> test'. Biometrics 1954;10:417-451.
48. Ponce P D. Enfermedades Alérgicas. ¿Un Reto al Futuro? Gac Méd Caracas. 1996;104(4):301-316.
49. Ghio AJ, Samet JM. Metals and air pollution particles. En: Holgate S, Samet J Koren H, et al, editores. Air pollution and health. San Diego (CA). 1998.p.653-672.
50. Fernández R, Galarraga F, Ramirez A. Análisis de las fracciones saturada y aromática de las partículas depositadas en los túneles de Caracas. Act Cient Venez. 1995;46:339.
51. Dannecker W, Schröder B, Stechman H. Organic and inorganic substances in highway tunnels exhaust air. The Scien of the Total Environm. 1990;93:293-300.
52. Fernández A, Fernández R, Carrión N, Loreto D, Benzo Z, Fraile R. Metals determination in atmospheric particulate by atomic absorption spectrometry with slurry sample introduction. Atomic Spectroscopy. 1991;12(4):111-117.
53. Barbee R, Jalonen M, Lebowitz M, Burrows B. Distribution of IgE in a community population sample: Correlation with age, sex, and allergen skin test reactivity. J Allergy Clin Immunol. 1981;68:106-107.
54. Norman P. In vivo methods of study of allergy. Skin and mucosal tests, technique and interpretations. En: Middleton E Jr., Ellis E, Reed C, editores. Allergy, principles and practice. 2ª edición. St Louis, The C. V. Mosby Co.; 1983.p.297.
55. Ponce PD, Salgado-Labouriau ML, Hernández A, Alvarez F, Rull V, Guariglia M, et al. Common airborne allergens and their clinical relevance in the Caracas valley. Investig Clín. 1991;32(4):157-186.
56. Tietz N. editor. Clinical guide to laboratory tests. Filadelfia: WB Saunders; 1995:358.
57. National Committe for Clinical Laboratory Standards. Procedures for the collection of diagnostic blood specin by venopuncture; approved Standard. 4th ed. NCCLS Document H3- A4, Wayne, PA: NCCLS, 1998.
58. Fernández R. Estudio químico y mineralógico de las partículas depositadas en los túneles del área metropolitana de Caracas. Trabajo de ascenso. Centro de Geoquímica. Instituto Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. UCV. 1996.
59. Pasquill F. Atmospheric diffusion Van Nostrand. Nueva York. 1962.p.179-214.
60. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). El recurso Aire. Venezuela. Reglamento de contaminación atmosférica. 1995.
61. Méndez C, Méndez M. Estratificación social y biológica humana. Arch Venez Puer Ped. 1986;49:93-102.
62. Fernández Salinas SN. Comparación de métodos estadísticos clásicos y multivariados, aplicados al estudio de la contaminación atmosférica en la ciudad de Caracas. Tesis de grado para optar el título de Licenciada en Geoquímica. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Departamento de Geoquímica. 2006:1-141.
63. SPSS Inc, (1988). SPSS Base 8. Applications guide. Chicago: SPSS Publications.
64. Ponce P D, Rull V, Hernández A, Suárez, Bolbochan D, Salgado- Labouriau M. Aeroallergens in Caracas,

## CONTAMINANTES AÉREOS

- Venezuela. *Internat. Aerobiolog. Newsletter*. 1988;28:18.
65. Ponce PD. *Aerobiología*. En: Machado I, Bianco N, editores. *Inmunología Clínica* 89. Fondo Editorial CONICIT. Caracas. 1989. p.167-186.
  66. Ponce PD, Rull V, Hernandez A, Salgado - Labouriau M.L. Preselection Area of a Representative Aerobiological Sampling Station of a Tropical Valley. *Invest Clín*. 1989;30(1):13-20.
  67. Odien EC, Raynor GS. Field evaluation of ragweed pollen samplers. *J Allergy*. 1969;31:307-312.
  68. Hernandez A, Rull V, Salgado-Labouriau ML, Suarez V, Guariglia M, Ponce PD. Basal atmospheric pollution (pollen and mold spores) and their influence on allergic diseases. I. Selection of the aerobiological sampling station. 3rd. International Conference on Aerobiology, Basel, Switzerland, abst152, 1986.
  69. Rull V, Hernandez A, Salgado-Labouriau ML, Guariglia M, Alvarez F, Suarez V, et al. Estimating particle number in high-density aerobiological samples. *Ann Allergy*. 1985;55(2):379.
  70. Ponce PD, Salgado-Labouriau ML, Hernández A, Alvarez F, Rull V, Guariglia M, et al. Common airborne allergens and their clinical relevance in the Caracas valley. *Investig Clín*. 1991;32(4):157-186.
  71. Bolbochan D. Caracterización morfológica de los granos de polen aerotransportados en el valle de Caracas. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Departamento de Botánica. Caracas. UCV. 1986.
  72. Rull V, Bolbochan D, Hernández A, Guariglia M, Suárez V, Salgado-Labouriau ML, Ponce PD. Primer calendario polínico de la ciudad de Caracas. Avance de resultados. En: Bianco N, Machado I, editores. *Inmunología Clínica* 89. Conicit Fondo Editorial; 1989. p.217- 225.
  73. Ponce PD, Rull V, Hernández A, Salgado-Labouriau ML, Guariglia M, Alvarez F, et al. *Aerobiología de la Ciudad de Caracas y su Aplicación en Inmunología Clínica*. III Estimación del Número de Esporas de Hongos captadas por el Rotorod. *Act Cientif Venez*. 1986;36:71.
  74. Fernández R, Ramírez A, Hernández A, Ponce PD. Geoquímica atmosférica, parámetros meteorológicos y procesos respiratorios en el valle de Caracas. *Act Cientif Venez*. 1995;46(1):101.
  75. Hernández A. Agenda médico ambiental. Aspectos ambientales de Vargas antes, durante y ex -pos del evento meteorológico del 16-12-99. *Gac Méd Caracas*. 2000;108(3):362.
  76. Rodríguez-Rajo FJ, Dopazo A, Jato V. Environmental factors affecting the start of pollen season and concentrations of airborne *Alnus* pollen in two localities of Galicia (NW Spain). *Ann Agric Environ Med*. 2004;11:35-44.
  77. Hurtado I, Hecker S, Medina H. Alergenos aéreos en el área metropolitana de Caracas. *Arch Venez Puric Pediat*. 1962;25:124.
  78. Hurtado I, Riegler-Goihman M. Air sampling studies in Tropical America (Venezuela) Frequency and periodicity of pollen and spores. *Allergol et Immunopathol*. 1984;1(6):449-454.
  79. Kishikawa R, Koto E, Iwanaga T, So N, Kamori C, Shoji S, et al. Long-term study of airborne pollen, *C. japonica* and cupressaceae in Japan. *Aerugi*. 2001;50:369-378.
  80. Serrano H. Aeroalergenos y alergias respiratorias en Maracaibo y otras regiones del estado Zulia. *Kamera*. 1973;4(3):107.
  81. Benaim Pinto C. Polen de *Melinis minutiflora* Beauv (Capin Melao), contaminante biológico del aire con posible implicación en la etiología de alergia respiratoria. *Acta Cientif Venez*. 1972;23:155.
  82. Solomon W, Mathews K. Aerobiology and inhalant allergens. En: Middleton E Jr., Reed C, Ellis E, Adkinson F Jr. Yunginger J, editores. *Allergy, principles and practice*. 3ª edición. St Louis: The C. V. Mosby Co.; 1988. p.339.
  83. Zureik M, Neukirch C, Leynaert B, Liard R, Bousquet J, Neukirch F. Sensitisation to airborne moulds and severity of asthma: Cross sectional study from European Community respiratory health survey. *BMJ*. 2002;325:411-414.
  84. Dales RE, Cakmak S, Judea S, Dann T, Coates F, Brook JR, et al. The role of fungal spores in thunderstorm asthma. *Chest*. 2003;123:745-750.
  85. Suárez V, Marquez M, Rull V, Hernández A, Alvarez F, Guariglia M, et al. *Aerobiología de la Ciudad de Caracas y su Aplicación en Inmunología Clínica*. VI Prevalencia de sensibilización antigénica en el último quinquenio. *Acta Cientif Venez*. 1986;36:68.
  86. Ponce PD, Rull V, Bolbochan D, Hernández A, Guariglia M, Suárez V, et al. Pollen Calendar for Caracas. En: Sanchez Borges M, Capriles-Hulett A, Malka S, editores. Earlier pollen calendar for Caracas produced by Perdomo Ponce and colleagues. *J World Allergy Org*. 2004. p.160.
  87. Hernández RA. Fenología y partición de biomasa en gramíneas nativas e introducida: *Axonopus pulcher* (Ness) Kuhl. *Melinis minutiflora* Beauv. Tesis USB; 1981:137.
  88. Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens:

- Past and future. *Clin Exp Allergy*. 2004;34:1507-1513.
89. Shima M, Nitta Y, Adachi M. Traffic-related air pollution and respiratory symptoms in children living along trunk roads in Chiba Prefecture, Japan. *J Epidemiol*. 2003;13:108-119.
  90. Nicolai T, Carr D, Weiland SK, Duhme H, von Ehrenstein O, Wagner C, et al. Urban traffic and pollutant exposure related to respiratory outcomes and atopy in a large sample of children. *Eur Respir J*. 2003;21:956-963.
  91. Bastain TM, Gilliland FD, Li YF, Saxon A, Diaz-Sanchez D. Intraindividual reproducibility of nasal allergic responses to diesel exhaust particles indicates a susceptible phenotype. *Clin Immunol*. 2003;109:130-136.
  92. D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Cazzola M. Respiratory allergic diseases induced by outdoor air pollution in urban areas. *Environ Res*. 2003;91:21-28.
  93. Fernández R, Galarraga F, Benzo Z. Preliminary study on some hydrocarbons in settled particles in Caracas city. *Bull Env Con and Tox*. 2002;68(4):6.
  94. Wong GW, Lai CK. Outdoor air pollution and asthma. *Curr Opin Pulm Med*. 2004;10:62-66.
  95. Boyce JA. Asthma 2005-2006: Bench to bedside. *J Allergy Clin Immunol*. 2006;118:582-586.
  96. Zuloaga M. Estudios de los elementos cancerígenos (As, Cd, Pb, Cr, Hg) asociados a las partículas inhalables (PM10), en el valle de Caracas, Venezuela. Trabajo especial de grado. Centro de Geoquímica. Instituto Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. UCV. 2008.
  97. Ramos J, Fernández R, Urbina de Navarro C, Barrios C, De Abrisqueta A, Conde M, et al. Morfología y composición química de partículas atmosféricas en una zona urbana de Venezuela. *Acta Microscópica*. 2007;16(2):284-285.
  98. Ponce P.D. Historia Clínica como factor de discriminación de sensibilización alérgica. Tesis para optar por el título universitario Doctor en Ciencias Médicas, mención Inmunología. Universidad Central de Venezuela. 2003.

## GLOSARIOS

### Climatológico

**AEROSOL:** Suspensión de partículas sólidas, líquidas o de ambos tipos en un medio gaseoso, con una velocidad de descenso mínima (ISO,1994).

**ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS:** Análisis de las dimensiones y la determinación de la fórmula de las partículas. Comprende las operaciones mediante las cuales se puede obtener la distribución

del tamaño de la partícula

**CALMA:** Ausencia aparente de la velocidad del aire.

**CAPA DE INVERSIÓN:** Capa atmosférica donde la temperatura aumenta o permanece constante con la altura (OMM,1992).

**CLIMA:** La síntesis del tiempo.

**CLIMATOLOGÍA:** La ciencia que estudia el clima, analiza las causas que modifican el clima.

**DIFUSIÓN:** Transporte de materiales de índole diversa de un sitio a otro a través del viento.

**DISPERSIÓN:** Descomposición de un haz luminoso en sus diferentes radiaciones.

**INVERSIÓN:** Aumento de la temperatura con la altura. Está contenida en la actividad anticiclónica.

**METEOROLOGÍA:** Estudio de los fenómenos de la atmósfera, incluyendo los físicos, químicos y dinámicos, además de los efectos de estos en los océanos, superficie de la tierra y de la vida en general.

**ROSA DE LOS VIENTOS:** Diagrama diseñado para mostrar la distribución de la dirección y velocidad del viento en una localidad determinada y en un período determinado.

**SITUACIÓN ANTICICLONAL:** Movimiento del viento en sentido contrario a las agujas del reloj y de arriba hacia abajo. Buen tiempo. La situación anticiclónica genera actividades como la inversión de temperatura y la sequía.

### Palinológico

**APERTUTADO:** Granos de polen con aberturas.

**ECUADOR:** Plano que divide los dos hemisferios de un grano de polen.

**DIÁMETRO ECUATORIAL:** Diámetro del círculo máximo perpendicular al diámetro polar.

**DIÁMETRO POLAR:** Diámetro que conecta los centros de las dos áreas polares de un grano

**PLANTAS ANEMÓFILAS:** Contienen pequeños grupos de flores y sus granos de polen son aerotransportados por el viento vigoroso. Por contraste hay grupos altamente productores de polen anemófilo.

**PLANTAS ENTOMÓFILAS:** Plantas productoras de polen que en su mayoría es transportado por insectos.

**POLEN:** Conjunto de los gametofitos masculinos de las plantas superiores.

**TRANSECTOS TRANSVERSOS:** Espacios rectangulares en sentido vertical al bastón (horizontal) del muestreador de captación de partículas aéreas. Permite un estudio cuantitativo de un número representativo de los mismos.

### Micológico

**ASCA:** Hifa modificada en forma de saco, en la cual la cariogamia y la meiosis preceden la formación de ascosporas (Ascomycetes).

**ASCOSPORA:** Espora sexual producida dentro del asca.

**BASIDIO:** Estructura que lleva sobre su superficie un determinado número de basidiosporas, las cuales se forman como resultado de la cariogamia y meiosis posterior (Basidiomycetes).

**DEPOSICIÓN:** Al igual que otras partículas, las esporas se ven influenciadas por la velocidad de asentamiento, la impactación, el lavado de la lluvia, y la penetración muy particular de las más pequeñas, por su baja velocidad de asentamiento.

**DISPERSIÓN:** La dispersión de esporas se realiza a través del agente de transporte y depende de las propiedades físicas y químicas.

**DISPERSIÓN ANEMOFILIA:** La dispersión de esporas realizada por el viento.

### Química ambiental

**ANTRÓPICO:** De origen humano, humanizado, opuesto a lo natural. Antropogénico.

**ESTERANO:** El **ciclopentanoperhidrofenantreno** (también llamado **esterano** o **gonano**) es un hidrocarburo policíclico que se puede considerar un producto de la saturación del fenantreno asociado a un anillo de ciclopentano. Posee 17 átomos de carbono.

**FRAGMENTOGRAMA:** Representación gráfica de los fragmentos en que se divide una molécula de un compuesto orgánico, empleado para interpretar la presencia de ciertos compuestos orgánicos en una muestra ambiental.

**INTERVALOS C18-C35” ó “C18-C-23:** Son los intervalos o rangos en que se presentan los compuestos orgánicos estudiados y que corresponden a un número determinado de átomos de carbono. Son identificativos de la presencia de un tipo determinado de compuestos químicos.

**MATERIAL PARTICULADO (MP):** El MP es una mezcla compleja de pequeñas partículas inhalables de sólidos o líquidos en suspensión en un gas. La mezcla contiene numerosos componentes ácidos, productos químicos orgánicos, metales, polvo y las partículas del suelo, que se pueden dividir en 3 categorías: (1) partículas gruesas tienen un diámetro de 2,5 (MP<sub>2,5</sub>) a 10 micras (MP<sub>10</sub>); (2) las partículas finas tienen un diámetro inferior a 2,5 micras; y (3) partículas ultra finas tienen un diámetro inferior a 0,1 micras. Por inhalación, las partículas pueden tener efectos graves sobre el corazón y los pulmones como el asma, el cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares y muerte prematura.

**OXIDANTES:** También conocidos como un agentes oxidantes, son compuestos de transferencia de átomos de oxígeno o ganancia de electrones en una reacción química. La exposición prolongada a oxidantes puede dar lugar a deterioro de las defensas hacia gérmenes microbianos y alterar la función de macrófagos alveolares en el pulmón.

**OZONO (O<sub>3</sub>):** Ozono trioxígeno o triatómico, es una molécula compuesta de 3 átomos de oxígeno. En la parte superior de la atmósfera, el ozono filtra la luz ultravioleta potencialmente perjudicial. En la parte inferior de la atmósfera, el ozono es un contaminante atmosférico que puede causar efectos perjudiciales en los sistemas respiratorios de los animales y seres humanos, en concentraciones tan bajas como 0,06 ppm. La luz ultravioleta en la atmósfera inferior, cataliza la reacción entre el ozono y los hidrocarburos, iniciando el proceso mediante el cual se eliminan los hidrocarburos desde el aire y forma el smog, el cual contiene los posibles irritantes.

**PARTÍCULADIESEL (DEP):** partículas finas que son parte de una mezcla compleja de gases y partículas en el escape de vehículos que utilizan diesel y puede tener efectos inmediatos y / o tardíos en los efectos sobre la salud.

### **Inmunología**

**ANTI-IL-5:** Agente biológico que bloquea la producción de IL-5 por los eosinófilos y su tráfico hacia el tejido pulmonar, gastrointestinal y piel.

**CD4 :** Células T, denominadas colaboradoras

**CD8:** Células T, denominadas supresoras

**CD25:** Cadena  $\infty$  del receptor de IL-2 y puede expresarse sobre las células T reguladores y productoras de IL-10.

**CVF:** Capacidad vital forzada.

**IL-2:** Interleuquina. Proteína que autoestimula a los linfocitos T y activa a los B aumentando su proliferación.

**IL-5:** Interleuquina. Proteína soluble de las *citoquinas*,

liberada por los linfocitos T que activa a los eosinófilos.

**IL-6:** Interleuquina. Proteína que provoca la diferenciación de las células B a plasmáticas que sintetizan los anticuerpos específicos frente al antígeno presentado.

**IL10:** Interleuquina. Proteína que induce un mecanismo supresor sobre los linfocitos Th2, al ser secretada por las células Treg.

**IL-13:** Interleuquina. Proteína, liberada por los linfocitos Th2. Es importante su papel en la re-estructuración o “remodeling” de las vías aéreas.

**LINFOCITOS T REGULADORES (Treg):** Células reguladoras CD4<sup>+</sup> o CD8<sup>+</sup> y pueden expresar factores de transcripción Foxp3, y/o TGF- $\beta$ , CD25 e IL-10.

**TGF- $\beta$ :** Es un agente profibrotico. Su forma inactiva se une a un péptido, el cual puede a su vez ser activado por proteasas de mastocitos, tales como quimasas y tripsasas. El TGF- $\beta$  se ha implicado en enfermedades que incluyen fibrosis a nivel pulmonar y renal. El polimorfismo del gene simple de TGF- $\beta$ , se ha asociado con asma.

**Th1:** Linfocitos T basado en el perfil de citoquinas. Las células tipo 1 producen INF-gamma, IL-2 y factor de necrosis tumoral beta (TNF-B) los cuales activan macrófagos y son responsables de la inmunidad celular mediada por células.

**Th2:** Linfocitos T basado en el perfil de citoquinas. Las células tipo 2 producen IL-4, IL-5, IL-10, e IL-13, las cuales son responsables de una fuerte respuesta por anticuerpos e inhiben muchas de las funciones del macrófago.

**VEF<sub>1</sub>:** Flujo espiratorio forzado en el primer segundo.