

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**PLAN DE ACCIÓN PARA EL CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO DE  
10 MICRONES O MENOS EN LA ZONA OESTE DE PONCE**

Requisito parcial para la obtención del  
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental  
en Planificación

Por  
César O. Rodríguez Santos

4 de mayo de 2011

## **DEDICATORIA**

*A Dios, mi principal guía, y a mi esposa e hijo,  
que son mi mayor inspiración.*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios que siempre ha estado en mi vida para dirigirme. Durante la investigación hubo varias personas que fueron de gran apoyo. Al Dr. Carlos Padín que cuando necesité un consejo o tuve alguna duda siempre estuvo dispuesto a escucharme y darme su ayuda. A mi comité: Al Dr. Carlos Ramos que fue mi mentor y me guió durante el arduo proceso. Al Dr. Santos Rohena quién fue muy diligente en la revisión del documento y sus consejos fueron de gran utilidad a la hora de redactar el documento y hacer el Plan de Acción. Al Dr. Juan C. Musa por que en el momento que necesité que revisara el documento dijo presente. Además de mi comité quiero agradecer al Dr. Carlos Padín que cuando necesité un consejo o tuve alguna duda siempre estuvo dispuesto a escucharme y darme su ayuda. A la profesora María C. Ortiz por que siempre me brindó consejos útiles durante el proceso de la investigación. También quiero agradecer al personal de la Junta de Calidad Ambiental en especial al personal de la Oficina Regional de Ponce y de la División de Validación y manejo de Datos. También quiero agradecer a mi esposa que siempre me apoyó para que continuara y terminara. Por último a mi gran amigo y hermano José A. Alvarado que comenzamos los estudios universitarios juntos y cuando en ocasiones me sentía que no podía continuar, él siempre estaba con sus palabras de aliento para que siguiera adelante.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
Trasfondo del problema .....	1
Problema de estudio.....	5
Justificación .....	6
Preguntas de investigación.....	8
Meta y objetivos.....	8
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA .....	9
Trasfondo histórico .....	9
Marco teórico .....	12
Contaminación del Aire .....	12
Clasificación de Fuentes de Emisión .....	13
Material Particulado.....	14
Estándares de Calidad de Aire en Puerto Rico .....	15
Estándares de Calidad de Aire en California .....	16
Clasificación de la Calidad del Aire .....	17
Red de Monitoreo de Aire.....	17
Meteorología .....	19
Eventos naturales .....	21
Índice de Calidad de Aire de la JCA.....	23
Efectos de la Contaminación del Aire por Material Particulado a la Salud.....	26
Marco legal .....	32
Ley Sobre Política Pública Ambiental (Ley Número 416 de 22 de septiembre de 2004).....	35
Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica .....	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	44
Área de estudio .....	44
Diseño metodológico .....	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	50
Primer Objetivo.....	50
Segundo Objetivo.....	59

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
Hallazgos.....	64
Recomendaciones .....	69
Limitaciones del estudio .....	70
 CAPÍTULO VI: PLAN DE ACCION .....	 72
 LITERATURA CITADA .....	 80

## LISTA DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla 1: Concentraciones de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2006) .....	89
Tabla 2: Concentraciones de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2007) .....	90
Tabla 3: Concentraciones de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2008) .....	91
Tabla 4: Total de precipitación anual y mensual Ponce Puerto Rico (2006-2008) .....	92
Tabla 5: Promedio de velocidad y dirección del viento cada seis horas durante un día (24hrs) (2006-2008) .....	93
Tabla 6: Querellas por mes y totales por material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).....	94
Tabla 7: Querellas por fuente de emisión de material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).....	95
Tabla 8: Promedio de concentración de material particulado anual estación 56PM10 (2006-2008).....	96
Tabla 9: Comparación estaciones de material particulado 56PM10, 24PM10 y 7PM10 por promedio aritmético de concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) anual .....	97
Tabla 10: Emisiones actuales de material particulado PM10 industrias Titulo V Ponce Puerto Rico (2006 y 2008) .....	98
Tabla 11: Industrias en la zona de Ponce con liberación de material particulado PM10 al ambiente .....	99
Tabla 12: Industrias identificadas en la zona de estudio como contribuyentes al material particulado.....	100
Tabla 13: Cantidad de vehículos anuales que transitaron por las principales carreteras de la zona de estudio Ponce Puerto Rico según la Autoridad de Carreteras .....	101
Tabla 14: Concentración de material particulado PM10-2.5 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2006.....	102

## LISTA DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla 15: Concentración de material particulado PM10-2.5 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2008 .....	103
Tabla 16: Por ciento de PM2.5 en la concentración de material particulado PM10 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2006.....	104
Tabla 17: Por ciento de PM2.5 en la concentración de material particulado PM10 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2008.....	105
Tabla 18: Comparación de la concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )PM10 con la de PM10-2.5 para los años 2006 y 2008.....	106

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 1: Mapa zona de estudio oeste de Ponce Puerto Rico.....	108
Figura 2: Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico(2006) .....	109
Figura 3: Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2007) .....	110
Figura 4: Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2008) .....	111
Figura 5: Precipitación anual Ponce Puerto Rico (2006-2008).....	112
Figura 6: Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2006.....	113
Figura 7: Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2007.....	114
Figura 8: Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2008.....	115
Figura 9: Rosa de Viento Ponce Puerto Rico 2006.....	116
Figura 10: Rosa de Viento Ponce Puerto Rico 2007 .....	117
Figura 11: Rosa de Viento Ponce Puerto Rico 2008 .....	118
Figura 12: Mapa de la dirección del viento prevaleciente tomada de la estación meteorológica de la JCA ubicada en la estación 56 en Ponce Puerto Rico (2006-2008).....	119
Figura 13: Querellas totales y anuales por material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).....	120
Figura 14: Querellas por mes por material particulado Ponce Puerto Rico para el año 2006 .....	121
Figura 15: Total de querellas por fuente de emisión por material particulado en Ponce Puerto Rico (2006-2008) .....	122
Figura 16: Total de querellas por mes por material particulado Ponce Puerto Rico ( 2007) .....	123



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 17: Total de querellas por material particulado por mes en Ponce Puerto Rico (2008) .....	124
Figura 18: Promedio anual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con evento atmosférico y sin evento estación 56PM10 (2006-2008) .....	125
Figura 19: Promedio de concentración anual de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estaciones 56PM10, 24PM10 y 7PM10 (2006-2008) .....	126
Figura 20: Carretera 123 Ponce Puerto Rico .....	127
Figura 21: Carretera 132 y 500 Ponce Puerto Rico .....	128

## RESUMEN

Durante esta investigación evaluamos la contaminación del aire por material particulado de un diámetro de 10µm o menos (PM10) en la zona oeste de Ponce durante el periodo de 2006 al 2008. El lugar es un área urbana donde se encuentran las urbanizaciones Juan Morel Campos, Valle de Andalucía, La Providencia, Río Canas, San José, El Madrigal y Estancias del Golf al igual que varias industrias. Analizamos los datos de concentración por PM10 y PM2.5 obtenidos de las estaciones 56PM10 y 56PM2.5 que opera la Junta de Calidad Ambiental en la zona para los años 2006-2008. Evaluamos las condiciones meteorológicas (dirección, velocidad del viento y precipitación). Comparamos los datos de concentración de material particulado obtenidos con los Estándares Nacionales de Calidad de Aire, Índice de Calidad de Aire y concentraciones de la estación 24PM10 y 7PM10. Establecimos un inventario de fuentes de material particulado en la zona. Evaluamos las querellas reportadas en el lugar por emisiones de material particulado. Las concentraciones de PM10 observadas en la zona de estudio estuvieron por encima o prácticamente igual a las observadas en el Bo. Amelia de Guaynabo. En la investigación, encontramos que la zona tiene un problema de contaminación por PM10, aunque no hubo violaciones a los Estándares Nacionales de Calidad de Aire. La estación 56PM10 no es representativa de las comunidades afectadas debido a que se encuentra viento arriba de las mismas y las principales fuentes de PM10. La precipitación en la zona tuvo una relación inversamente proporcional a las concentraciones de PM10 observadas. A mayor cantidad de precipitación menor fue la concentración de PM10. La mayor cantidad de querellas recibidas durante el periodo de estudio fue por labores en la compañía de producción de cemento Cemex, Puerto Rico. La zona es una industrial caracterizada por la producción de hormigón y cemento, extracción de corteza terrestre (piedra caliza, barro) y labores en un relleno sanitario. Observamos que muchos procesos en el lugar liberan material particulado, no obstante entendemos que son las fuentes estacionarias de no proceso en combinación con las fuentes móviles en especial la alta cantidad de vehículos pesados que continuamente acarrear la materia prima y los productos de las industrias los principales contribuyentes a la contaminación por PM10. Luego con la información obtenida desarrollamos un Plan de Acción para ayudar a controlar la liberación de PM10 al ambiente.

## ABSTRACT

During this investigation we assess the air pollution by particulate matter of 10 $\mu$ m in diameter or less (PM10) in the west of Ponce during the period 2006 to 2008. The place is an urban area that include the developments Juan Morel Campos, Valle de Andalucía, La Providencia, Rio Canas, San Jose, El Madrigal, and Estancias del Golf as well as various industries. We analyzed data from PM10 and PM2.5 concentration obtained from the Puerto Rico Environmental Quality Board stations #56PM2.5 and #56PM10 in the area for the years 2006-2008. The meteorological conditions (wind direction, wind speed and precipitation) were also evaluated. The particulate matter concentration data were compared to the National Air Quality Standards, the Air Quality Index, the 7PM10 and 24PM10 stations concentrations. We established a sources inventory of particulate matter in the area and evaluated the particulate matter emissions complaints reported at the place. The PM10 concentrations were over or practically the same in comparison to the observed concentrations at 7PM10 and 24PM10. We found that the area has a PM10 pollution problem, although there were no violations of the US EPA National Air Quality Standards. The 56PM10 station is not representative of the affected communities, due the fact that is located up wind from the PM10 sources and the affected communities. The PM10 concentrations and the precipitation have an inversely proportional relationship, a greater amount of precipitation the lower the concentration of PM10. The majority of complaints during the period of the study were for works at the cement production plant Cemex, Puerto Rico. The industrial zone is characterized by concrete and cement production, extraction of crust (limestone, clay), and landfill works. The release of dust from non process sources and mobile sources specially the trucks and re-suspension by traffic are the main contributors of PM10 pollution. Then with the information obtained we developed an Action Plan to control the release of PM10 to the environment.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema**

El aire es la atmósfera que rodea la tierra como también es uno de los factores determinantes para la existencia de la vida. Todos los organismos dependen del aire para vivir. Los seres humanos podríamos vivir sin comida por unas semanas, sin agua por unos días pero sin aire no podríamos sobrevivir más de unos pocos minutos. Al vivir en la superficie de la tierra, nos hemos adaptado tanto a nuestro ambiente, que algunas veces olvidamos lo necesario y extraordinario que es el aire. Este aire de la atmósfera que nos rodea está compuesto principalmente por nitrógeno (78.08%), oxígeno (20.95%) y argón (0.93%) (Anhrens, 2007).

Según establece la Junta de Calidad Ambiental (JCA) en los últimos años, la contaminación ambiental se ha convertido en uno de los problemas más importantes en el ámbito mundial incluyendo a Puerto Rico. La contaminación puede ser causada por eventos o fenómenos de la naturaleza (fuentes naturales) o por diferentes procesos hechos por el hombre (fuentes antropogenias) (JCA, 2005). Una de las vertientes de este problema es la contaminación del aire. Los contaminantes del aire son sustancias aéreas (sólidos, líquidos o gases) que se encuentran en concentraciones lo suficientemente altas, que amenazan la salud de los seres humanos y los animales, dañan la vegetación y las estructuras, o llenan de toxinas al ambiente (Tiwary & Colls, 2010).

El material particulado (PM, por sus siglas en inglés) es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotas líquidas. La contaminación por partículas

está hecha de un número de componentes, que incluyen ácidos (como nitratos y sulfatos), químicos orgánicos, metales y suelo o partículas de polvo. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) le ha dado mucha importancia al tamaño de las partículas ya que es un factor que está directamente vinculado a su potencial para causar problemas de salud. Específicamente, las partículas que son de 10 micrómetros de diámetro o más pequeñas (PM10, por sus siglas en inglés) son las de mayor importancia ya que son las que generalmente entran por la garganta y la nariz y llegan hasta los pulmones. Finalmente, estas partículas pueden afectar el corazón y los pulmones, entre otros efectos graves para la salud (US EPA, 2011a).

Según la Agencia de Protección Ambiental de California (CEPA, por sus siglas en inglés) la contaminación de partículas incluye "partículas respirables gruesas", con diámetros mayores de 2.5 micrómetros y menores a 10 micrómetros (PM10-2.5, por sus siglas en inglés) y "partículas finas", con diámetros que son de 2.5 micrómetros y más pequeñas (PM2.5, por sus siglas en inglés). Estas partículas son tan pequeñas que pueden compararse con el cabello humano. El cabello humano promedio es de aproximadamente 70 micrómetros de diámetro lo que es 30 veces más grande que el tamaño mayor de partículas finas (CEPA, 2009).

En muchos estudios la contaminación del aire ha sido asociada con el deterioro de la salud en niños, específicamente el PM10. Por ejemplo, en un estudio realizado se encontró diferencias significativas en la salud a las personas expuestas a un lugar contaminado con personas expuestas a uno menos contaminado. El disminuir la exposición a PM10 del aire parece atenuar el deterioro de la función pulmonar

relacionada a la exposición. Estos efectos se observaron en pruebas que reflejaron una disminución en la función de las vías respiratorias (Downs et al., 2007).

Existen numerosos estudios en los que se evalúa el impacto de la contaminación del aire en las personas. En uno de estos estudios, se evaluó el impacto de la contaminación de aire urbano a través de indicadores de exposición confiables, con relación al asma y alergias en niños de edad escolar. Como parte de los hallazgos se encontró que la condición de asma, en niños que vivían en el mismo lugar por los últimos tres años se relacionaba directamente con altos niveles de contaminantes en el aire, tales como benceno, dióxido de azufre y material particulado (Pénard-Morand, 2010).

En Puerto Rico, hemos podido observar que la contaminación atmosférica puede ser mayor en algunos lugares. Por ejemplo, en el Bo. Amelia de Guaynabo para el año 1987 se declaró el área No-Logro para PM10 ya que se excedió el estándar de 24 horas con un valor de 285 microgramos por metro cúbico. Según presenta Díaz esta área de Guaynabo ha sido objeto de un crecimiento industrial y poblacional con una deficiente planificación. Como producto de esto, se han concentrado varios tipos de industrias y actividades cuyas operaciones ocasionan emisiones de varios contaminantes, siendo el material particulado el de mayor preocupación (Díaz, 2008).

Situaciones como las que han ocurrido en el Bo. Amelia de Guaynabo podrían ocurrir en otros lugares de Puerto Rico. Como se puede observar, lugares que se encuentran en desarrollo tanto industrial y económico existe una mayor probabilidad de ocurrir problemas de contaminación. Esta situación podría ocurrir en el municipio de Ponce que es el segundo más grande en extensión territorial en Puerto Rico y de acuerdo al censo realizado en el año 2000, cuenta con una población de 186,475 habitantes, lo que

lo convierte en el tercero más poblado del país, después de San Juan (434,374) y Bayamón (224,044) (Negociado del Censo Federal, 2000).

Ponce se encuentra ubicado en un extenso valle del Llano Costanero del Sur a cuarenta pies sobre el nivel del mar. Abarca un área de 116 millas cuadradas, equivalentes a 76,444 cuerdas. Su territorio colinda al oeste con Peñuelas, al norte con Adjuntas, Utuado y Jayuya, al este con Juana Díaz y al sur está limitado por el Mar Caribe. La zona de la isla, donde ubica Ponce es tropical semidesértica, con una temperatura promedio de 78.0 grados Farenhight (°F). La precipitación promedio anual es de 36.10 pulgadas (Rivera, 1999). Ponce tiene sus orígenes en los primeros años de la colonización española (1508), siendo reconocido oficialmente en 1692. Durante el transcurso del siglo XVIII y la primera mitad del XIX la población fue creciendo, expandiendo así su entorno urbano. De hecho, en esta época fue el establecimiento de los primeros trapiches melaeros para la elaboración de azúcar moscabada en la región, sirviendo de base para la conversión de Ponce en un centro económico de gran importancia en la región sur (Vidal, 1986).

Los últimos años del siglo XIX (1898-1899) marcaron un período de grandes cambios para la isla como consecuencia de la invasión estadounidense, el 25 de julio de 1898. En contraposición a la merma en la actividad agrícola, en la región se dió paso a la industria manufacturera. Muchas de esas industrias se desarrollaron efectivamente hasta que su producción ganó terreno en el mercado mundial. Surgieron varias compañías tales como: la Ponce Cement, las Industrias Vasallo, la Destilería Serrallés, entre otras. Luego, para el 1985 se inició un proceso de rehabilitación urbana, social y económica. El

desarrollo en Ponce fue tan exitoso que en el 1991, logró convertirse en el primer municipio autónomo de Puerto Rico (Rivera, 1999 ; Vidal, 1986).

El municipio de Ponce ha desarrollado varios proyectos de infraestructura entre los que se encuentra el Puerto de Ponce. Este puerto es el de mayor importancia del área sur además es el segundo puerto más grande en todo Puerto Rico luego del puerto de San Juan. En este puerto, actualmente se están realizando una serie de expansiones y mejoras para convertirlo en un mega puerto de trasbordo. La dinámica inter-comercial que allí se pretende establecer, es de magnitudes mundiales con múltiples operaciones de carga, descarga, almacenamiento y distribución (Hernández, 2008). Los puertos a través del Mundo enfrentan retos ambientales mientras facilitan el intercambio marítimo. El impacto ambiental negativo de los puertos aumenta con el aumento en el volumen de carga. El mayor impacto ambiental es la contaminación del agua y del aire. En el caso de la contaminación del aire, surge principalmente de la emisión de los contenedores, camiones, equipo de manejo y carga, entre otros (Talley, 2009).

Podemos observar, en la historia del Municipio de Ponce, que la actitud prevaleciente ha sido una progresista, adaptándose continuamente a los cambios a través de los años. Al igual que en otras partes del mundo, el progreso económico trae consigo en la mayoría de los casos desventajas, como lo es la generación de contaminantes.

### **Problema de estudio**

El aire en las urbanizaciones Juan Morel Campos, Valle de Andalucía, La Providencia, Río Canas, San José, El Madrigal y Estancias del Golf en el municipio de Ponce es afectado por polvo fugitivo (Caquías, 2006). En varias visitas realizadas al



lugar, se pudo observar mucha acumulación de polvo sobre las estructuras (autos, casas, árboles, etc.). Por otro lado, la JCA indicó que los residentes en las comunidades cercanas al lugar, han informado sobre enfermedades respiratorias y de la piel, en forma recurrente. En un estudio (Jedrychowski, Flak & Mroz, 1999) se encontró que las concentraciones de material particulado están relacionadas inversamente a la función pulmonar. La calidad del aire está íntimamente relacionada con la naturaleza de los contaminantes y los puntos específicos desde donde se emiten dichos contaminantes.

En el municipio de Ponce hay varios proyectos de construcción en desarrollo, así como industrias que tienen un alto potencial de contribución al alto contenido de PM10 en el aire. Entre las industrias se encuentran algunas que se dedican a la producción de cemento. Existen reportes que asocian el polvo de cemento con efectos tóxicos. En un estudio realizado para determinar el efecto tóxico del cemento se concluyó que éste presentó toxicidad y debe tratarse como material peligroso (Sgambato et al., 2010)

Este estudio va dirigido a proveer herramientas importantes sobre la calidad del aire con relación al material particulado que se libera al mismo, para poder desarrollar un plan de acción que pueda controlar las emisiones o liberación de estas partículas al ambiente.

## **Justificación**

Este estudio es de mucha importancia, ya que nos brindará datos precisos sobre la calidad del aire con relación al material particulado del área bajo estudio, además de información útil sobre las fuentes principales de emisión. Con estos datos se podrán

tomar mejores decisiones al momento de desarrollar un plan para el control de emisiones de material particulado al igual que serviría de modelo para utilizarse en otros lugares.

Con la continua aprobación de proyectos como parte del desarrollo y el desparrame urbano en el área, aumentan la cantidad de particulado que se libera al ambiente. Al mismo tiempo el efecto negativo sobre la salud de los residentes y el ambiente está directamente relacionado al aumento en las concentraciones de material particulado. En un estudio realizado por la Escuela de Salud Pública en la Universidad Loma Linda se encontró un riesgo mayor de cáncer por la exposición al material particulado, inclusive en niveles por debajo del estándar de PM10 (Abbey, Hwang, Burchette, Vancuren & Mils, 1995).

La exposición a contaminación del aire por material particulado fino ha sido asociada con el aumento en la morbilidad y mortalidad, lo cual sugiere que reducciones sostenidas en la exposición a la contaminación deben resultar en una expectativa de vida mejorada. En un estudio realizado se evaluaron directamente los cambios en expectativas de vida asociados con cambios diferenciales en la contaminación del aire por material particulado fino que ocurrió en los Estados Unidos durante los años 80 y 90. En este se encontró que las reducciones en la contaminación del aire por material particulado fino contribuyó hasta un 15% del aumento total en expectativas de vida en las áreas bajo estudio ( Pope, Ezzati, & Dockery, 2009)

El conocer cómo el impacto de las diferentes fuentes de emisión tanto antropogenias como naturales, que afectan la región bajo estudio nos ayudaría a desarrollar un plan de acción para controlar la emisión de material particulado al aire y así garantizar una mejor calidad de vida a la ciudadanía.

## **Preguntas de Investigación**

1. ¿Existe un problema de contaminación de aire por PM10 en la zona oeste del municipio de Ponce?
2. ¿Cuál es la principal fuente de emisión de PM10 en la zona oeste del municipio de Ponce?

## **Meta y Objetivos**

Meta:

Esta investigación tiene como meta desarrollar un plan de acción que ayude a disminuir la cantidad de material particulado que se emite al ambiente en la zona oeste del municipio de Ponce.

Objetivos:

1. Evaluar si existe relación de las concentraciones de material particulado recolectado en la zona, con los factores meteorológicos y querellas reportadas para conocer cual es el comportamiento del PM10 y poder determinar si existe un problema de contaminación de aire por PM10 en la zona.
2. Realizar un inventario de posibles fuentes de emisión de particulado de PM10, para determinar cual es la principal fuente de emisión de PM10 en la zona.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Trasfondo histórico**

La contaminación ambiental es uno de los problemas de mayor relevancia que enfrenta nuestra sociedad. La contaminación básicamente, la podríamos agrupar en tres grandes grupos: contaminación del agua, de terreno y del aire. La contaminación del agua se refiere a la degradación de su calidad medida en términos biológicos, químicos o criterios físicos. La contaminación de la tierra ocurre cuando se aplican al suelo materiales dañinos por personas u otras cosas, ya sea inadvertidamente o deliberadamente. La contaminación del aire no son otra cosa que sustancias aéreas (sólidos, líquidos o gases) que se encuentran en concentraciones lo suficientemente altas, que amenazan la salud de las personas y los animales, dañan la vegetación y las estructuras, o llenan de toxinas al ambiente (Ahrens, 2007).

La contaminación del aire ha sido un factor determinante en el deterioro de la salud. Con el descubrimiento del fuego los seres humanos comenzaron a contaminar el aire tanto en sus hogares como en el exterior. Según se desarrollaban las áreas urbanas fuentes de contaminación como chimeneas y procesos industriales, se concentraban creando una contaminación muy dañina y visible dominada por el humo. Los efectos dañinos de la contaminación del aire fueron reconocidos temprano. En *Aire, Agua y Lugares* escrito cerca de 2500 años atrás, Hipócrates notó que la salud de las personas podía verse afectada por el aire que ellos respiraban y que la calidad del mismo difería por área. En el siglo trece la contaminación del aire en Londres era tan severa que se

estableció una comisión para hacer frente al problema seguida de estrategias para la reducción (Brimblecombe, 1986). En ese tiempo la contaminación del aire era generalmente un problema local causado por hornos, fogones y calderas; desde entonces la naturaleza de la contaminación del aire ha cambiado junto con la creciente población, industrialización y la transportación basada en combustible fósil. El alto volumen de la industrialización y la transportación a través de largas distancias significa que los efectos dañinos de la contaminación del aire a menudo ocurre lejos de la fuente. Los problemas de la contaminación hoy van de un rango geográfico local a uno global y ocurren en una variedad de escalas en el tiempo (Bell & Samet, 2010)

La contaminación del aire ocurre en muchas escalas: internas, urbanas, regional y global. La contaminación global es muy difícil de controlar ya que las fuentes de contaminación están muy lejos. Por esta razón, se ha dado mayor atención a la contaminación a escala local y regional. Esto se debe a que es mucho más viable controlar los contaminantes que se liberan al aire en lugares de menor escala ya que son los mismos que se acumulan y se convierten en problemas globales (McKinney & Schoch, 1998).

La contaminación del aire tiene un efecto detrimental en la salud y en la naturaleza. El PM10 específicamente, ha sido relacionado con el aumento de enfermedades del sistema respiratorio. A medida que la cantidad del material particulado en el ambiente es mayor, aumentan las probabilidades de que la salud y bienestar de los habitantes se deteriore. En un estudio realizado para determinar el efecto del ozono y el PM10 en el ingreso de personal a hospitales por neumonía o enfermedad

obstructiva crónica pulmonar se encontró que la exposición a estos contaminantes está asociada con las hospitalizaciones (Mercedes, Schwatz & Zanobetti, 2006).

La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), ha expresado que la contaminación del aire es un riesgo ambiental mayor a la salud y se estima que causa aproximadamente dos millones de muertes prematuras anualmente en el mundo. En los múltiples estudios realizados por WHO, se ha encontrado que reduciendo la contaminación por PM10 de 70 a 20 microgramos por metro cúbicos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) podría reducir las muertes relacionadas a la calidad del aire en un 15% (WHO, 2008).

El aumento en la población humana, en conjunto con el incremento constante en la producción de desperdicios, ha llevado a que nuestra sociedad se encuentre en una crisis ambiental. Según aumenta la población, mayor es la demanda de productos y servicios, que provocan que se agrave el problema de contaminación en nuestro ambiente.

Desde los comienzos de la vida, nuestra atmósfera ha sido una fuente importante de elementos químicos. Al mismo tiempo ha sido un medio de disposición de desperdicios. El planeta tiene la capacidad de limpiarse y regenerarse, pero los contaminantes actuales hacen más difícil este proceso natural. Esto se debe a que cada vez la demanda de recursos y la contaminación es mayor, mientras que los recursos y la capacidad de neutralizar los efectos de la contaminación son menores (Keller, 2000).

## **Marco teórico**

### **Contaminación del aire**

Los contaminantes del aire se clasifican en dos categorías: Contaminantes Primarios y Contaminantes Secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se originan en la fuente en forma de material particulado o gas. El material particulado puede provenir de una fuente natural como el polvo, semillas, esporas, polen, algas, hongos, bacterias y virus. También puede provenir de una fuente antropogénica como polvo mineral, cemento, polvo de asbesto, fibras, polvo de metal, ceniza etc. Los contaminantes en forma de gas más común lo son el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, hidrocarburos, hidrocarburos poli-aromáticos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, cloro, metano, compuestos orgánicos volátiles etc. (Agarwal, 2009).

Los contaminantes secundarios se forman en la atmósfera como resultado de reacciones entre dos o más contaminantes primarios catalizados por otros factores atmosféricos. Por ejemplo, la lluvia ácida se forma cuando la lluvia reacciona con óxidos de azufre y nitrógeno en la atmósfera. El ozono es producido por la reacción fotoquímica entre oxígeno molecular con un átomo de oxígeno activo. En otras palabras los contaminantes primarios liberados a la atmósfera pasan por cambios químicos en presencia de agua, oxígeno y rayos ultravioletas para formar contaminantes secundarios (Tiwarý & Colls, 2010).

## **Clasificación de fuentes de emisión**

La EPA clasifica las fuentes de contaminación de aire como estacionarias o móviles. En el caso de fuentes que usualmente no requieren permisos de control individuales se clasifican como “fuentes de área”.

Como indica el nombre las fuentes estacionarias están fijas en un lugar. Estas fuentes son facilidades que son comúnmente identificadas como fuentes de contaminación de aire. Estas incluyen instalaciones como refinerías de petróleo, facilidades de procesos químicos, centrales de energía y otras facilidades de manufactura. La mayoría de estas fuentes están sujetas a requisitos de permisos a escala estatal y federal. Para propósitos de permisos las agencias que trabajan con el control de la contaminación del aire a escala estatal dividen las fuentes estacionarias en fuentes mayores y menores basadas en su potencial de liberar ciertas cantidades de contaminantes. Según se establece en la sección 112 del Acta de Aire Limpio, las fuentes mayores son una fuente o un grupo de fuentes estacionarias que emitan o tengan el potencial de emitir 10 toneladas o más de un contaminante del aire peligroso o 25 toneladas o más de contaminantes al año de una combinación de contaminantes peligrosos (Martineau & Novello, 2004)

Las fuentes de área son fuentes estacionarias menores (como por ejemplo tintorerías, panaderías etc.) que no están reguladas o con permisos individuales. Sin embargo, colectivamente estas facilidades contribuyen significativamente a una calidad de aire pobre en áreas por lo que a menudo se adoptan regulaciones para reducir las emisiones de dichas fuentes (JCA, 2005).



Por otra parte, las fuentes móviles, son fuentes de contaminación del aire que no están fijas. Estas se pueden dividir en fuentes en la carretera y fuentes en el terreno. Entre las fuentes en la carretera se incluyen los automóviles, motoras, camiones y autobuses. Entre las fuentes móviles en el terreno se encuentran los trenes, aeronaves, botes y barcos equipo de patio y jardín, sopladoras de nieve, equipo industrial y equipos y vehículos de construcción. Estos contaminan el aire como el resultado de la quema de combustible y a través de la evaporación del combustible durante el llenado del tanque y el manejo y almacenaje de combustible a bordo. Entre los contaminantes liberados por las fuentes móviles se encuentra el monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, material particulado (especialmente de motores diesel) y contaminantes peligrosos y tóxicos como el benceno, formaldehído y acetaldehído. Las fuentes móviles contribuyen grandemente a la contaminación a través de la nación y son la primera causa de contaminación en muchas áreas urbanas( JCA, 2008a).

### **Material particulado**

El PM, consiste de diferentes sustancias suspendidas en el aire en forma de partículas (sólidas o líquidas) que varían ampliamente en tamaño. El PM se divide en tres grupos importantes: particulado suspendido total (TSP, por sus siglas en inglés), particulado de diez micrones o menos y particulado de 2.5 micrones o menos.

El TSP se compone de partículas de más de diez micrones de diámetro suspendidos en el aire. Estas partículas pueden causar irritación en los ojos, nariz y garganta en algunas personas, pero no tiene la tendencia a causar problemas de salud mayores, ya que no alcanzan los pulmones. Por otro lado, el PM10 está compuesto por

partículas de diez micrones o menos de diámetro entre las cuales se incluyen partículas de polvo finas y gruesas. Estas partículas son de preocupación, ya que afectan la salud, debido a que pasan a través de la nariz y la garganta y llegan al interior de los pulmones. Por último el PM 2.5 se refiere a partículas de igual o menor de 2.5 micrones de diámetro. Los efectos son iguales a los de PM10, no obstante está relacionado con síntomas aun más severos ya que puede penetrar más adentro (McMurry, Shepherd & Vicker, 2004).

### **Estándares de calidad de aire en Puerto Rico**

La Ley de Aire Limpio, requiere que la EPA establezca Estándares de Calidad de Aire en el Ambiente para los contaminantes considerados perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente. La Ley de Aire Limpio establecido dos tipos de estándares nacionales de calidad del aire. Los estándares primarios establecen límites para proteger la salud pública, incluida la salud de poblaciones "sensibles", tales como los asmáticos, los niños y los ancianos. Los estándares secundarios establecen límites para proteger el bienestar público, incluida la protección contra una menor visibilidad, el daño a los animales, cultivos, vegetación y edificios (EPA, 1990).

La Oficina de Planificación y Normas Calidad del Aire de la EPA ha establecido Estándares de Calidad de Aire en el Ambiente para seis contaminantes principales, los cuales son llamados contaminantes "criterio". Estos contaminantes son el material particulado, ozono a nivel del suelo, monóxido de carbono, óxidos de azufre óxidos de nitrógeno y plomo. Estos contaminantes pueden afectar la salud y el ambiente, como también daños a la propiedad.

En cumplimiento con el mandato del Acta de Aire Limpio la EPA, al igual que con los otros contaminantes, estableció estándares para regular la cantidad de máxima de material particulado en el aire tanto en promedio anual como diario, las cuales aplican a Puerto Rico. La norma primaria y secundaria para PM10 es de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un periodo de 24 horas. En el caso de PM2.5 la norma es de  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas y  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  de promedio aritmético anual (U.S. EPA, 2011b).

### **Estándares de calidad de aire en California**

En otros lugares como California se mantienen unas normas de calidad de aire para PM más restrictivas. La Junta de Recursos de Aire (ARB, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de California (CEPA, por sus siglas en inglés) para junio de 2002 adoptó nuevas normas de calidad de aire para MP en respuesta a los requerimientos del Acta de Protección de la Salud Ambiental de los Niños (Senate Bill 25, Escutia 1999). Esta acta requiere la evaluación de las normas de calidad del aire ambiental referentes a la salud para determinar si las normas protegen adecuadamente la salud humana, particularmente la de infantes y niños. La revisión sub-secuente de las normas de PM resultó en la recomendación de normas de calidad de aire ambiental para PM10 más protectoras a la salud y nueva norma para PM2.5. En el caso de PM10 la norma es de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas y de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio anual. Por otro lado, en el caso de PM2.5 se estableció una sola norma de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio aritmético anual (CEPA, 2009).

## **Clasificación de la calidad del aire**

Según establecido en el Acta de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés), se le requiere a los estados clasificar la calidad del aire por región en tres categorías: áreas con una calidad del aire mejor que los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental denominadas como área logro; áreas que no cumplen con los NAAQS primarios y secundarios denominadas como áreas no logro; y áreas que basados en la información disponible que no pueden clasificarse. Esto implica, que además los efectos negativos producidos al ambiente y a las personas, de ocurrir una violación a los estándares establecidos por la EPA, provocaría la designación del área como una de no logro (US EPA, 1990).

## **Red de monitoreo de aire**

Para verificar el cumplimiento con los NAAQS la EPA le requiere a los estados incluyendo a Puerto Rico el establecer y operar un Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire (SMCA) de los contaminantes criterio. Esta Red debe cumplir con los requisitos establecidos en el 40CFR parte 58 (40 CFR § 58). Entre las estaciones de muestreo que componen el SMCA se encuentra la estación JCA #56PM-10 y #56PM-2.5, donde se toman La JCA como parte de su Red de Monitoreo de Aire opera dos estaciones para PM10 y PM2.5 en Ponce.

Las estaciones 56PM10 y 56PM2.5 miden las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el ambiente. La mismas están ubicadas en la Latitud +18.009558 y la Longitud – 66.627249, en el techo de las Oficinas de la Defensa Civil del Municipio de Ponce. La ubicación representa un Área Estadística Metropolitana (MSA, por sus siglas en ingles)

que es un lugar urbanizado que tiene una población de 50,000 personas o más según definido en el 40CFR§58 apéndice D sec. 2.0. Según el Plan de Monitoreo de la JCA el objetivo de las estaciones es conocer la exposición de la población al PM. La escala determinada para la estación es de vecindario. La escala de vecindario cubre un área de uso uniforme de tierra que se extiende en un rango de 0.5Km hasta 4.0Km según definido en le 40CFR§58 apéndice D sec 1.0.

El equipo utilizado para el monitoreo de PM10 utilizado es el *Graseby Andersen / GMW Model 1200 High-Volume Air Sampler*, el cual está considerado Método de Referencia Federal (FRM, por sus siglas en inglés) para la toma de muestra de PM10 en el aire. Este equipo se considera manual ya que solamente hace un muestreo de un filtro de cuarzo instalado manualmente. El proceso de muestreo es el siguiente: Se acondiciona un filtro de cuarzo por 24 horas en un cuarto limpio a unas condiciones de temperatura y humedad específicas. Luego se calcula el peso en una balanza. Un técnico toma el filtro y lo instala en la estación correspondiente. El equipo toma la muestra por un periodo de 24hrs +/- 1 de 12:00 de la media noche a 12:00 de la madrugada según se establece en el método. El técnico luego de terminado el muestreo remueve el filtro anota el tiempo que muestreó y cualquier dato relevante que pudiera afectar la muestra y lo lleva al Laboratorio. En el Laboratorio nuevamente acondicionan el filtro por 24hrs. y luego realizan el pesaje y calculan la concentración de PM en el filtro.

En el caso del PM2.5 el equipo utilizado es un *R&P Partisol Plus 2025* el cual también esta considerado FRM pero para la toma de muestra de PM2.5 en el aire. Aunque se considera manual el sistema del equipo es secuencial por lo que un técnico puede instalar varios filtros y programar para que tomen la muestra los días específicos.

El procedimiento de pesaje y acondicionamiento es similar al del PM10 con la diferencia que el filtro en lugar de ser de cuarzo es de teflón, que en lugar de balanzas son microbalanzas y que las condiciones de humedad y temperatura del cuarto de pesaje son más estrictas.

## **Meteorología**

Las partículas llegan a la atmósfera y la abandonan por una amplia variedad de rutas. Partículas de diez micrones o menos de diámetro (PM10, por sus siglas en inglés) tienen unas velocidades de sedimentación por gravedad muy lentas y podrían mantenerse en el aire por días antes de eventualmente ser lavadas por la lluvia o impactadas fuera por la vegetación o edificios. Estas partículas son un contaminante ambiental importante responsable de la pérdida de rango de visión, deterioro en las superficies y efectos sobre la salud de las personas. El conocer sus concentraciones, distribución por tamaño y concentración química es necesaria pero por varias razones es bastante duro obtenerlas correctamente. Existe una diferencia histórica importante en la manera en que las partículas y los gases han sido tratados como contaminantes. Los métodos para la medición de gases se han hecho específicos al gas, rápidamente, por lo que las concentraciones de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno al igual que otros, se han cuantificado. En contraste el método predominante para medir la concentración de partículas ha sido mediante la filtración de la masa asentada identificándolas sin importar su composición química (Tiwary & Colls, 2010).

Para poder entender el comportamiento de la contaminación del aire una de las ramas de la ciencia más estudiada es la meteorología. La meteorología es el estudio de la

atmósfera – las capas de aire que rodean la tierra. Los meteorólogos recogen y examinan la data científica para pronosticar el clima, medir la contaminación del aire y estudiar las tendencias del clima terrestre, como el calentamiento global y la reducción del ozono. Estos estudian las características físicas de la atmósfera, movimientos y procesos y la manera en que estas características afectan el resto del ambiente. Estos usan tecnología moderna como computadoras y satélites para monitorear y predecir los patrones del clima y estudiar la composición química del aire (McMurry, Shepherd & Vicker, 2004).

Los estudios atmosféricos son altamente complejos debido a los millones de factores que influyen los patrones del clima y el viento. Una teoría utilizada ampliamente para explicar eventos en el clima y la naturaleza es la Teoría del Caos, Según Kellert (1993) la Teoría del Caos es el estudio cualitativo del comportamiento inestable no periódico en sistemas dinámicos deterministas no lineales. Un sistema dinámico es uno que cambia con el tiempo; por lo tanto, esta teoría observa cómo las cosas evolucionan (Porteous, 2008). Un ejemplo de esta teoría aplicada en el pronóstico del tiempo es que el movimiento de las alas de una mariposa tropical en Brazil puede tener un impacto sustancial en el clima tan lejos como Nueva York (Fasulo & Walker, 2007).

La Teoría del Caos ha sido utilizada para poder entender y predecir las concentraciones de PM10. Por ejemplo, en un estudio realizado en la India se realizó un estudio para tratar de caracterizar y predecir las partículas gruesas del PM10 utilizando los conceptos de la teoría dinámica no lineal. Los resultados obtenidos indicaron que existe la presencia del carácter caótico en las partículas gruesas de PM10 (Chelani & Devota, 2006).

Aplicando la Teoría del Caos a nuestro entorno de Isla del Caribe no estamos exentos del efecto de sucesos o situaciones en otras partes del Mundo. Por ejemplo, todos los veranos las partículas de polvo del Desierto del Sahara viajan alrededor del Mundo y se asientan en el área del Caribe, especialmente en Puerto Rico. Este polvo no solo afecta la calidad del aire pero también el clima. La nube lleva minerales y hongos, altera la calidad del aire e impacta severamente a aquellos con condiciones respiratorias, y también afecta los ecosistemas (Reyes, 2008).

### **Eventos naturales**

Las tormentas de polvo del Sahara son responsables de inyección de grandes cantidades de polvo y minerales en la atmósfera. Según algunos cálculos hasta dos millones de toneladas métricas (Griffin, 2002). La cantidad de polvo tiene el potencial de inducir efectos regionales a la salud como los brotes de asma, sobre todo en las subpoblaciones sensibles como los ancianos, niños, niñas y adolescentes, y las respuestas de los ecosistemas, como las mareas rojas o la degradación de los arrecifes de coral debido a la infestación de hongos o poblaciones microbianas extranjeras. El transporte de polvo del Sahara es también responsable de la deposición crítica de metales pesados y minerales para el Atlántico tropical y puede tener un impacto en la química atmosférica regional inducida a través de polvo y reacciones heterogéneas (Goudie & Middleton, 2001).

Los efectos del polvo del Sahara en el Caribe han sido observados por varios años particularmente en términos de deposición de la masa total y la relación potencial a enfermedades respiratorias en la región (Martet, Peuch, Laurent, Marticorena, &



Bergametti, 2009). Nieblas regionales asociadas a tormentas de polvo de Sahara han sido reportadas más frecuentemente durante la pasada década, reduciendo la visibilidad y causando una pobre calidad del aire. Para un entendimiento completo de los impactos del polvo del Sahara en el Caribe y en la costa oriental del Océano Atlántico se requiere que se obtengan una serie completa de medidas directas. Esta serie de medidas tienen que incluir un número básico de densidades, distribución de tamaños, distribución de masas, composición química, propiedades ópticas y propiedades micro-físicas básicas (Roldán & Morris, 2003).

Los estudios realizados, presentan que es muy difícil distinguir entre los impactos de las partículas gruesas y finas. A pesar de que la información epidemiológica indica que exposiciones a bajas concentraciones de PM10 están relacionadas consistentemente a enfermedades de las vías respiratorias, no está claro si la causa principal son las partículas gruesas o finas, o si son de igual aportación o importancia.

Por otro lado, y según presentado por la EPA, la calidad del aire local afecta la forma en que vivimos y respiramos. En las pasadas décadas en los Estados Unidos, se han realizado muchos intentos para mejorar la calidad del aire que se respira. Luego del Acta de Aire Limpio de 1970, la emisión de la mayoría de los contaminantes ha disminuido sustancialmente. A pesar de que la situación ha mejorado, debido al constante desarrollo industrial, aún hay mucho por hacer para controlar las grandes cantidades de contaminantes que se liberan al aire. De hecho, muchas áreas actualmente no cumplen con los estándares de calidad de aire establecidos en las Enmiendas al Acta de Aire Limpio de 1990 (Ahrens, 2007).

## **Índice de calidad de aire de la JCA**

El Índice de Calidad de Aire (AQI, por sus siglas en inglés) de la JCA es un sistema para reportar diariamente la calidad del en Puerto Rico. Indica cuán limpio o contaminado está el aire y que precauciones se deben seguir de acuerdo a éste. Se enfoca, principalmente en los efectos a la salud ocasionados por respirar o estar expuesto al aire contaminado por horas o días. Se puede utilizar para varios contaminantes regulados y de los cuales se han establecido normas nacionales que intentan proteger la salud de daños asociados a estos (JCA, 2008a).

El Índice es un mecanismo sencillo y rápido para divulgar la información sobre la calidad del aire con relación a un contaminante en particular en cierta zona. Funciona como una tabla de escalas de concentraciones que van desde 0 a 500, donde 500 es lo máximo de contaminación y dañino a la salud. Un AQI de 100 corresponde generalmente a la norma nacional de calidad de aire. Este nivel es el establecido para proteger el bienestar público. Un AQI debajo de 100, generalmente es una calidad de aire satisfactorio. Un AQI sobre 100 se considera una calidad de aire insalubre y representa un mayor impacto a los grupos sensitivos. El AQI relaciona escalas y colores para tratar de entender la calidad del aire y qué implica ésta a la salud. Se divide en seis categorías y a cada categoría se le asocia un color para ayudar a visualizar en forma rápida la calidad del aire (JCA, 1997).

Para determinar el AQI se recolectan diariamente datos de las estaciones de la red de muestreo de aire establecidas en Puerto Rico. El valor índice se calcula al transformar las lecturas de concentraciones ambientales a valores de una escala que se extiende de 0 a 500. Este valor se reporta diariamente y representa la calidad del aire del día al cual el

valor corresponde. En el caso de Puerto Rico actualmente se genera el índice de una sola estación de PM10 ubicada en el Barrio las Vegas de Cataño. El equipo utilizado es el TEOM 1400AB el cual tiene una microbalanza interna que calcula la concentración del material particulado PM10 continuamente.

Uno de los elementos vitales que se debe incluir como parte de la información ofrecida al público es la posible causa que puede ocasionar el deterioro ambiental. Aunque es un criterio estimado y no exacto puede ayudar a las personas a formar un entendimiento definido de la situación adversa y provocar un sentido de precaución y protección personal. Según se establece en el reglamento del Índice de Calidad de Aire las posibles causas de la contaminación son variadas, entre éstas podemos encontrar:

- a. Normal : Se entenderá como normal cuando la escala ambiental presenta un valor menor a 50. Por lo general esta se puede observar los días secos, soleados con viento normal y buena visibilidad. También en días húmedos cuando ha habido bastante precipitación y la lluvia ha lavado la atmósfera. Solamente esta condición está asociada al renglón de *Bueno* en la escala ambiental.
- b. Bruma: Cuando el aire se torna un poco blanco y aparenta haber niebla a lo lejos, limitando la visibilidad de las estructuras lejanas y montañas. Por lo general está asociado a un aumento en el material particulado en el aire por efecto del Polvo del Sahara y el Volcán Le Soufriere.
- c. Sequía: Ocurre cuando hay poca o ninguna precipitación por periodo largo de tiempo ocasionando que el particulado puede ser levantado al aire por diversas razones permaneciendo más tiempo en la atmósfera.

- d. Accidente industrial: Se entenderá como explosión, fuego o escape accidental en alguna industria por tiempo prolongado que pueda causar un incremento en los niveles de contaminantes sobre el umbral de las Normas Nacionales de 24 horas u otro periodo más corto, como esté especificado para el contaminante en cuestión; y que ocasione la activación de un plan de respuesta a emergencias.
- e. Fuego o quema: Se entenderá como la combustión de material o estructura a campo abierto, fortuito y descontrolado, que pueda ocasionar un incremento en los niveles de contaminantes sobre el umbral de las Normas Nacionales de 24 horas u otro periodo más corto, como esté especificado para el contaminante en cuestión.
- f. Evento natural: Incluye actividades sísmicas, volcánicas, fuegos forestales, ráfagas de vientos sostenidas inusualmente altas y polvo proveniente del desierto del Sahara.
- g. Polvo del Sahara: Explícitamente indicado en eventos de bruma, ya sea mediante observación directa, pruebas microscópicas del particulado o por observaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología. Partículas de viento que son transportadas desde el Continente Africano a través del Océano Atlántico siguiendo la misma ruta de los disturbios atmosféricos.
- h. Inversión térmica: Es la condición ambiental en la que la temperatura del aire es más caliente en las capas superiores, manteniendo los contaminantes atrapados más cerca de la superficie terrestre. Esto se puede observar en las

emisiones de las chimeneas industriales cuando no existe dispersión vertical y el humo se mantiene atrapado.

- i. **Construcción:** Es la contribución de contaminantes, en especial el particulado, que ocurre cuando hay alguna actividad relacionada a la construcción de edificios, carreteras y la transportación de materiales en áreas de construcción. Incluye demolición, implosión o excavación.
- j. **Ventarrón:** Significa las ráfagas de viento sostenido que pueden levantar el polvo y partículas causando un incremento en el particulado suspendido en el aire. Cuando estos vientos son prolongados pueden causar aumentos de particulados en exceso del umbral de la Norma Nacional a corto plazo.
- k. **Volcán Le Soufriere:** Se refiere al volcán de la isla Monserrat en períodos de erupción, emitiendo cenizas a la atmósfera. Generalmente se hace de conocimiento público cuando el volcán está en erupción, mediante observaciones meteorológicas y de satélites.
- l. **Emisiones vehiculares:** Es la contaminación de aire por efecto de la congestión vehicular en las vías de rodaje.

### **Efectos de la contaminación del aire por material particulado a la salud**

La actual tendencia de la industrialización y urbanización en los países en desarrollo ha tenido un impacto enorme en los ecosistemas naturales y antropogénicos. Las fuentes de contaminación aumentan con la expansión de las ciudades y causan la contaminación del agua, aire y suelo (Alshwaikhat, 2005). Episodios de alta contaminación ambiental durante el siglo XX han sido asociados con el aumento en

mortalidad, especialmente por razones cardiorrespiratorias. Inclusive, a pesar de que los niveles de contaminación del aire han disminuido dramáticamente comparado con los niveles durante dichos episodios, continúan siendo asociados a efectos negativos a la salud del sistema respiratorio. En un estudio reciente se encontró una asociación afirmativa entre la contaminación por PM10 y la mortalidad en niños de 5 a 14 años. De hecho, los resultados generales para este estudio mostraron asociaciones positivas entre la mortalidad por padecer una enfermedad crónica obstructiva pulmonar y el PM10 (Tang, 2005) .

Otros estudios realizados (Bascom, 1996; Dockery, 2001; US EPA, 2004) reportaron efectos adversos a la salud del sistema respiratorio y cardíaco. Además datos acumulados sugieren que la exposición al material particulado puede llevar a la inflamación del pulmón (Gong, Sioutas & Linn, 2003; Li, Gilmour, Donaldson & MacMee, 1996; Salvi, 1999).

Se han realizado estudios para verificar el efecto del material particulado en la capacidad pulmonar. De acuerdo con la literatura (Gielen, Van Der Zee, Van Wijnen, Steen & Brunekreef, 1997; Pekkanen, Timonen, Ruuskanen, Reponen & Mirme, 1997; Peters, Wichmann, Tuch, Heinrich & Heyder, 1997; Romieu, et al., 1996) sujetos con asma muestran una tendencia a tener razón de flujo espiratorio pico en disminución según aumentan las concentraciones de PM10 y PM2.5. Asimismo se ha encontrado cambios en las medidas cardíacas como la presión sanguínea y el pulso los cuales son posibles factores de riesgo de padecimientos cardíacos y mortalidad. Por ejemplo un estudio en Alemania (Ibald-Mulli, Stieber, Wichmann, Koenig & Peters, 2001), mostró un aumento consistente de la presión sanguínea en adultos asociada a un aumento en las

concentraciones de particulados totales suspendidos. Asimismo otros estudios (Linn, Gong, Clark & Anderson, 1999; Mar et al., 2005), también han mostrado un aumento en la presión sanguínea según aumentan las concentraciones de material particulado.

Muchos estudios realizados sugieren un rol por parte de las partículas gruesas en empeorar problemas respiratorios como asma y bronquitis. Por ejemplo, en un estudio en el cual la masa estuvo dominada por partículas gruesas se encontró una asociación directa con condiciones respiratorias inferiores (Gordian, Özkaynak, Xue, Morris, & Spengler, 1996). Otro estudio, reflejó que los síntomas de bronquitis en niños estaban mayormente asociados a las partículas gruesas que a las de PM<sub>2.5</sub> (Dockery et al, 1989). Según Shwartz et al. (1994), los síntomas respiratorios adversos reportados se encuentran más fuertemente asociados a PM<sub>10</sub> que a PM<sub>2.5</sub> o sulfatos.

Los problemas asociados a la contaminación del aire no son recientes. La contaminación del aire no representa solamente una amenaza de daño ecológico global sino que aumenta la amenaza de enfermedades agudas y crónicas a la salud humana en exposiciones dentro de un rango normal en las ciudades y pueblos (Godish, 1997). Entre estas se encuentran desórdenes respiratorios como el asma, bronquitis, y enfisema. Además, aumenta los riesgos de enfermedades cardiovasculares, cáncer e infecciones respiratorias. Las partículas finas provenientes de plantas de energía, vehículos de motor y reacciones fotoquímicas en la atmósfera matan cerca de 64,000 americanos cada año de cáncer del pulmón y enfermedades del corazón (Allen, 1996).

De acuerdo con la literatura, los contaminantes del aire están relacionados con daños directos a plantas y materiales entre los cuales se incluyen: la corrosión de metales,

la degradación de pinturas, cuero, papel y textiles entre otros. De hecho, los efectos resultan en pérdidas económicas significativas (Liu & Xu, 1976).

Al igual que en Estados Unidos y otras partes del Mundo en Puerto Rico se han realizado diferentes estudios para conocer tanto el comportamiento de la contaminación del aire por material particulado en el ambiente como sus efectos a la salud y el ambiente. Por ejemplo, en el municipio de Caguas se realizó un estudio con el propósito de examinar las mediciones de material particulado (PM10 y PM2.5) junto con las variaciones en su distribución entre las zonas rurales y urbanas para estudiar la relación entre la calidad del aire, las actividades humanas, los recursos naturales y la ocurrencia de asma. Estos estudios indicaron que en promedio los distritos urbanos presentaron mayor concentración de partículas que las zonas rurales. Estas concentraciones más altas en los distritos urbanos pueden tener orígenes antropogénicos, mientras que los resultados de las zonas rurales pueden tener bases geomorfológicas. Los resultados también revelaron concentraciones de material particulado en algunas zonas y en determinados períodos de tiempo que estaban por encima de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire establecidos por la EPA. Esto último puede estar relacionado con la alta ocurrencia de asma reportadas para el municipio (Seguinot-Medina & Rivera-Rentas, 2006).

En Puerto Rico realizaron un estudio para determinar la relación entre las fuentes de contaminación del aire y ataques de asma en la niñez. En el mismo se identificó puntos de emisión específicos de contaminantes que están asociados con el aumento en ataques de asma entre los niños que vivían en un área urbana de Puerto Rico de una alta prevalencia de asma y niveles de material particulado de 10 micrones o menos (PM-10) que excedían los estándares ambientales de la Agencia de Protección Ambiental. Estos



resultados mostraron que la proximidad a algunas fuentes de contaminación del aire se asocia con un mayor riesgo de ataques de asma (Loyo-Berrios, Irizarry, Hennessey, Tao & Matanoski, 2007).

Al igual que se ha buscado conocer el efecto a la salud y al ambiente que tienen los contaminantes del aire, también se ha investigado el comportamiento de los contaminantes. En la ciudad de Los Ángeles California se realizó un estudio donde se hizo una comparación del comportamiento de las concentraciones y distribución en tamaño de material particulado ultra fino durante el día y la noche cerca de una autopista. Se encontró que la concentración de las partículas en la noche era un 80% del total de las concentraciones en el día, mientras que el flujo vehicular era un 25% del observado durante el día. Según los investigadores la discrepancia entre el cambio en el tráfico y la concentración del particulado es aparentemente debido a la disminución en temperatura, aumento en la humedad relativa y la disminución de la velocidad del viento en la noche (Yifang, Kuhn, Mayo, & Hinds, 2006).

En un estudio realizado en Alemania para analizar la relación del tráfico y los factores meteorológicos en el material particulado se encontró que cualquier disminución en el tráfico reduce la concentración de PM. Sin embargo, el análisis también mostró que una meteorología variable ejerce una influencia mayor en el predecir las concentraciones de PM (Gieti & Klemm, 2009). Muchos estudios han demostrado que la concentración de las partículas finas cerca de las carreteras depende de la velocidad del viento. En un estudio realizado en París para caracterizar los gases emitidos por los vehículos en una carretera de alto volumen vehicular se encontró que a mayor velocidad del viento menor era la concentración de material particulado en el lugar (Rulleau & Cachier, 2001).

En un estudio realizado en Ohio para investigar la distribución del material particulado fino se encontró que la temperatura, la velocidad y dirección del viento influyen en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>. Se observaron altas concentraciones de éste cuando la velocidad del viento estaba por debajo de ocho millas por hora, la temperatura por encima de 70 grados Fahrenheit y el viento soplabá del sur (Jung, Kumar & Kuruvilla, 2002) .

Uno de los principales problemas del PM son las emisiones fugitivas las cuales no tienen un punto específico de origen. Además de las causas naturales como es la erosión por viento o fenómenos naturales como erupciones volcánicas o polvo de desiertos las causas antropogénicas son de mucha influencia en especial localmente. En muchas ocasiones las autoridades ambientales al momento de monitorear emisiones o hacer inspecciones dejan a un lado y se olvidan de las emisiones de polvo fugitivo como las que provienen de proyectos de construcción, la manufactura de cemento y cerámica, la minería, industrias que trabajan con equipo pesado, el manejo y transporte de materiales polvorientos y el polvo de las carreteras. En España se realizó un estudio con el propósito de determinar las principales fuentes de emisión en un área urbana industrializada. El estudio reflejó que a pesar de tratarse de un área industrializada donde se encontraban dos plantas de cemento y varias plantas de manufactura de cerámica, fueron las emisiones de polvo fugitivo las que mayor aportaron a las concentraciones de material particulado. Entre estas fuentes se identificaron construcciones de carreteras, las calles con polvo en la superficie y el transporte de materiales para los procesos realizados en las construcciones y fábricas de cemento y cerámica (Santacatalina et al., 2010).

Como se puede observar en muchos estudios recientes se ha demostrado que la contaminación por material particulado es un factor importante asociado a efectos negativos a la salud del sistema respiratorio. Además de conocer los efectos a la salud, continuamente se realizan estudios sobre la exposición a los contaminantes de material particulado. Por ejemplo, en la ciudad de los Ángeles California se realizó un estudio con el propósito de determinar el nivel de exposición al que estaban expuestos los niños que asistían a escuelas elementales en zonas urbanas cerca de carreteras principales. El estudio mostró que los estudiantes cercanos a carreteras principales recibían una dosis de PM10 alcanzando de 10 a 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual es una exposición que se ha predicho que tiene efectos adversos a la salud (Korenstein & Piazza, 2002).

Son muchos los estudios realizados para conocer los efectos a la salud del material particulado no obstante, especial atención se le está prestando el conocer las características físicas y químicas del contaminante. El tamaño de las partículas es un componente esencial de la caracterización física las partículas. Las partículas más grandes se filtran a través de la nariz y la garganta, mientras que las partículas más pequeñas tienen un efecto perjudicial sobre la salud humana (Mogireddy, Devabhaktuni, Kumar, Agarwal & Bhattacharya, 2011).

### **Marco legal**

El control de la contaminación del aire se veía como uno local hasta los años cincuenta cuando el gobierno federal comenzó a tomar parte activa. En el 1955 el Congreso autorizó al Departamento de Salud, Educación y Bienestar (DEG, por sus siglas en inglés) a realizar investigaciones sobre la contaminación del aire y llevar a cabo algún

programa de adiestramiento. Debido a que la contaminación del aire era peor cada día en el 1963 por orden del Congreso de los Estados Unidos se estableció el CAA donde se le dio autoridad federal para desarrollar criterios de calidad de aire para proteger la salud pública e investigar la contaminación por dióxido de azufre. Además, le proporcionó fondos para establecer agencias de control de contaminación del aire, y proveer más investigaciones, adiestramientos y asistencia técnica con relación a la contaminación del aire.

Para el 1965, se creó el la Agencia para el Control de la Contaminación del Aire Nacional (NAPCA, por sus siglas en inglés). El CAA del 1963 no era capaz de lidiar con los problemas de contaminación existentes por lo que en el 1967 se aprobó el Acta de Calidad de Aire Abarcadora que representó el primer intento por desarrollar un enfoque regional para el control de la contaminación del aire a través de la designación de Regiones de Control de la Calidad del Aire. El progreso con estas regulaciones era lento, por lo que el Congreso, en el 1970, aprobó enmiendas al Acta de Aire Limpio. Con estas enmiendas se disolvió la NAPCA y se transfirieron las actividades para el control de la contaminación del aire a la Agencia de Protección Ambiental creada por el Presidente mediante orden ejecutiva. Además, aumentó la aplicación de la autoridad federal y estableció los Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiental (AAQS, por sus siglas en inglés) para seis contaminantes criterio. Al mismo tiempo, requirió a los estados desarrollar planes para la implementación de programas para lograr los NAAQS en los estados y someter los Planes de Implementación Estatales (SIPs, por sus siglas en ingles) a EPA. Por último, le dio a los ciudadanos americanos el derecho a demandar a entidades privadas y gubernamentales, para el cumplimiento de los requisitos para el

control de la contaminación del aire. Luego dos décadas más tarde, el Presidente George Bush propuso revisiones mayores al CAA las cuales fueron aprobadas y firmadas por el Congreso en noviembre 15 de 1990 y son conocidas como Enmiendas al Acta de Aire Limpio de 1990 (Moore, 2000).

Puerto Rico, se rige por leyes o regulaciones estatales y federales. El Estado Libre Asociado de Puerto Rico fue creado en el 1952 y organizado a través de la adopción de un gobierno constitucional compuesto por las ramas ejecutiva, legislativa y judicial (PR Const. Art. I § 1, 1952). Puerto Rico es un territorio aún no incorporado de los EU, cuyas relaciones con los Estados Unidos están definidas en el Acta de Relaciones Federales de Puerto Rico de 1950. En esta Acta se establece que las leyes constitucionales de los Estados Unidos aplican a Puerto Rico, con la misma fuerza y efecto que en los Estados Unidos (Acta de Relaciones Federales de Puerto Rico, 1950). En la Constitución se establece, además, que tiene que ser política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico conservar, desarrollar y utilizar los recursos naturales de la manera más efectiva posible para el bienestar general de la comunidad (PR Const. Art. VI, § 19, 1 LPRC, 1952). Por otro lado, la Ley De Política Pública Ambiental (Ley número 9 de 1970 ahora Ley 416 de 2004) establece una política pública ambiental en PR. Esta delega la autoridad reguladora de implementar la política pública ambiental a la Junta de Calidad Ambiental.

Para la década del sesenta la Cámara de Representantes del Estado Libre Asociado de Puerto Rico creó una comisión especial que evaluó todo lo relacionado con la conservación de los recursos naturales y el ornato. El resultado de los estudios propició la creación de una Secretaría Auxiliar de Recursos Naturales, adscrita al

Departamento de Obras Públicas. Aunque la Secretaría atendió los problemas ambientales del momento, fue imperativo formular una política pública ambiental para la Isla. Ante esto el Gobernador Luis A. Ferré, promovió la creación de la Ley de Política Pública Ambiental de Puerto Rico (Ley # 9 del 18 de junio de 1970), que a al mismo tiempo creó la Junta de Calidad Ambiental. Esto con el fin de establecer una política pública que estimulara una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente, para fomentar los esfuerzos de impedir o eliminar daños al ambiente y para preservar la salud y el bienestar del hombre.

A la JCA, bajo la Ley Número 9 de 1970, se le asignó la tarea de establecer el desarrollo socioeconómico de nuestra Isla, de acuerdo a la óptima calidad del ambiente. La actividad operacional se llevó a cabo a través de las Áreas de Calidad de Agua y Calidad de Aire, el Programa de Control de Contaminación de Terrenos, el Área de Control de Ruidos y el Área de Asesoramiento Científico.

En Puerto Rico, la emisión de contaminantes del aire al ambiente es regulada por la ley de Política Pública Ambiental (Ley 416, 2004), la Regulación para el Control de la Contaminación Atmosférica (Regulación de Aire), el Plan de Implementación Estatal de Puerto Rico, como también por el Acta de Aire Limpio Federal y las regulaciones promulgadas bajo ésta, como los Estándares de Desempeño de Fuente para Nuevas Fuentes Estacionarias (SPSNSS, por sus siglas en inglés). A continuación se presentan las Leyes y regulaciones ambientales inherentes al problema de estudio:

**Ley Sobre Política Pública Ambiental (Ley Número 416 de 22 de septiembre de 2004).**

Esta Ley sustituye y deroga la Ley Número 9 de 1970, según enmendada y las siguientes leyes: Ley Número 13 de 7 de julio de 1973; Ley Número 81 de 2 de julio de 1987, según enmendada; Ley Número 297 de 21 de agosto de 1999; Ley Número 257 de 31 de agosto de 2000; Ley Número 310 de 2 de septiembre de 2000; Ley Número 310 de 2 de septiembre de 2000; Ley Número 25 de 24 de abril de 2001; Ley Número 234 de 27 de septiembre 2002 y la Ley Número 160 de 3 de julio de 2003.

Entre los fines de la Ley que aplican a este estudio se encuentran, los siguientes:

1. Establecer una política que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente;
2. Fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre;

En el Título I, Artículo 3 de la Ley, el Estado Libre Asociado reconoce que toda persona tiene derecho y deberá gozar de un medio ambiente saludable y que toda persona tiene la responsabilidad de contribuir a la conservación y mejoramiento del medio ambiente. Además, toda persona responsable por la contaminación de nuestros suelos, aguas y atmósfera tiene la obligación de responder por los costos de la descontaminación o restauración, y cuando procediere, compensar al pueblo de Puerto Rico por los daños causados.

En el Título I, Artículo 4 de la Ley, se establece como responsabilidad del Estado Libre Asociado utilizar todos los medios prácticos, en armonía con otras consideraciones esenciales de la política pública, para mejorar y coordinar los planes, las funciones, programas y recursos del Estado Libre Asociado con el fin de que Puerto Rico pueda:

1. cumplir con las responsabilidades de cada generación como custodio del medio ambiente para beneficio de las generaciones subsiguientes;
2. asegurar para todos los puertorriqueños paisajes seguros, saludables, productivos y estéticos y culturalmente placenteros;
3. lograr el más amplio disfrute de los usos beneficiosos del medio ambiente sin degradación, riesgo a la salud de o seguridad u otras consecuencias indeseables;
4. lograr un balance entre la población y el uso de los recursos que permita altos niveles de vida y una amplia participación de las amenidades de la vida; y,

Además, en el Artículo 4 del Título I, se establece que todos los departamentos, agencias, Municipios, corporaciones e instrumentalidades públicas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico y subdivisiones políticas deberán, al máximo grado posible, interpretar, aplicar y administrar todas las leyes y cuerpos reglamentarios vigentes y los que en lo futuro se aprueben en estricta conformidad con la política pública enunciada en el Artículo 3 de esta Ley.

Bajo el Título II de esta Ley se establece la Junta de Calidad Ambiental. En el Artículo 9, entre las facultades y deberes de la Junta de Calidad Ambiental se encuentran: El llevar a cabo investigaciones, estudios, inspecciones y análisis para la verificación del cumplimiento con las disposiciones de esta Ley y la reglamentación aprobada al amparo de las mismas por la Junta de Gobierno de la Junta de Calidad Ambiental. Ordenar a las personas que estén causando o contribuyendo a una condición de daños al ambiente y a los recursos naturales o de peligro inminente a la salud y seguridad pública a que



reduzcan o discontinúen inmediatamente sus actuaciones. Expedir órdenes de hacer o de no hacer y de cese y desistimiento para que se tomen las medidas preventivas o de control que, a su juicio, sean necesarias para lograr los propósitos de esta Ley y los reglamentos que al amparo del mismo se promulguen. La persona natural...

Bajo la autoridad conferida a su Junta de Gobierno y de conformidad con los requerimientos, guías, normas, e instrucciones de la misma y lo dispuesto en el Artículo 8(B) de esta Ley, la Junta de Calidad Ambiental tendrá los siguientes deberes, facultades y funciones adicionales:

1. Planificación ambiental y desarrollo de política pública

- a. Recoger información oportuna y autoritaria sobre las condiciones y tendencias en la calidad del medio ambiente tanto actuales como perspectivas, para analizar e interpretar tal información con el fin de determinar si las condiciones y tendencias están interfiriendo o quizás puedan interferir con el logro de la política estipulado del Título I de esta Ley, y recopilar y someter al Gobernador los estudios relacionados a tales condiciones y tendencias.
- b. Llevar a cabo investigaciones, estudios, inspecciones y análisis relacionados al sistema ecológico y de la calidad del medio ambiente.

2. Reglamentación y sistema de permisos

- a. Clasificar, mediante reglamento, las fuentes que a su juicio estén afectando adversamente el ambiente y los recursos naturales y requerir informes sobre cada una de estas fuentes.

- b. Determinar, mediante estudios y muestreos, el grado de pureza de las aguas y del aire, y establecer las normas correspondientes en coordinación con las agencias concernidas.
  - c. Adoptar reglas y reglamentos para establecer un mecanismo de permisos y licencias que regule la contaminación del aire, agua, desperdicios sólidos...
3. Control de emisiones a la atmósfera
- a. Establecer, mediante reglamentos los requisitos que a su juicio sean necesarios para el control de emisiones a la atmósfera y para la prevención, disminución o control del calentamiento global y de daños al ambiente y a los recursos naturales.

### **Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica**

Este reglamento se creó para conservar la calidad natural del aire y para prevenir, eliminar y controlar la contaminación atmosférica; para establecer normas y requisitos para la prevención, eliminación y control de la contaminación atmosférica de conformidad con la Ley de Política Pública Ambiental. Entre las reglas que aplican en este estudio se encuentran las siguientes:

#### 1. Regla 103

Bajo esta regla 103 la JCA podrá requerir al dueño u operador de cualquier fuente, que instale, use y mantenga aquel equipo de monitoria, provea el equipo necesario y los instrumentos para el muestreo de combustible, tome muestras de emisiones, tome muestras de la calidad del aire. Además, para cada fuente mayor, se requerirá como

mínimo al dueño u operador, que a su propio costo tome muestras de la calidad del aire y las emisiones de cada chimenea o provea una determinación equivalente que sea aceptable a juicio de la JCA. En adición, la JCA podrá llevar a cabo prueba de las emisiones de contaminantes y hacer muestras de combustibles de cualquier fuente.

## 2. Regla 104

En esta regla se establece que todos los datos obtenidos por y sometidos a la JCA, incluyendo los datos informados de acuerdo a la Regla 103 y los obtenidos de cualquier otra manera, estarán disponibles para inspección pública.

## 3. Regla 105

Aquí se establece que en caso que cualquier fuente, equipo de control de contaminación de aire o equipo relacionado, se descomponga, funcione mal, se rompa, permita escapes, o quede parcial o totalmente inoperante, el dueño u operador de tal equipo deberá informar inmediatamente a la JCA de tal falla o incidente y ofrecerá los datos pertinentes, incluyendo el tiempo que se estima durará tal condición.

## 4. Regla 108

La Regla 108 expone que todo equipo o medida para el control de contaminación de aire deberá proveer el control necesario para dar cumplimiento con las reglas y reglamentaciones aplicables. El equipo o medidas deberán instalarse, conservarse y operarse de acuerdo con las condiciones impuestas por la JCA dentro de los límites operacionales especificados por el fabricante. La JCA, para salvaguardar la salud y bienestar de personas, podrá requerir la instalación y mantenimiento de un equipo de control de contaminación de aire adicional, completo y separado de una capacidad que pudiera ser hasta igual a la del equipo de control primario. En ésta también, se establece

que todo equipo de control de contaminación de aire deberá ser operado en todo momento en que la fuente de emisión bajo control esté en operación.

#### 5. Regla 401

La Regla 401 expone que ninguna persona causará o permitirá emisión de cualquier contaminante del aire en violación de las reglas y reglamentos aplicables.

#### 6. Regla 403

La Regla 403, en relación con emisiones visibles para fuentes estacionarias, establece que ninguna persona causará o permitirá la emisión de contaminantes de aire de una opacidad que sea mayor al veinte por ciento (promedio de seis minutos). No obstante, una persona podrá emitir desde una chimenea emisiones visibles con una opacidad hasta sesenta por ciento por un periodo no mayor de cuatro minutos dentro de cualquier intervalo consecutivo de treinta minutos.

#### 7. Regla 404

La Regla 404 establece que ninguna persona causará o permitirá que materiales se manipulen, transporten o almacenen en un edificio y sus dependencias o una carretera se usen, construyan, alteren, reparen, o demuelen sin antes tomar las debidas precauciones para evitar que la materia particulada gane acceso al aire. Dichas precauciones razonables deberán incluir pero no limitarán a lo siguiente:

- a. Al uso, tanto como sea posible, de agua o compuestos químicos para la estabilización química y para controlar el polvo en la demolición de edificios, en obras de construcción, en operación de canteras, en la gradación de carreteras o en el desmonte de predios;

- b. La aplicación de asfalto, agua compuestos químicos adecuados y el uso de vegetación en caminos de tierra o carreteras en construcción, materiales, estibas y otras superficies que puedan dar lugar a la aéreo transportación de polvo; y el encintado, la pavimentación o la reparación de carreteras pavimentadas en cualquier área no-logro de PM10 y cualquiera otras fuentes en los alrededores a los Municipios;
- c. La instalación y uso de campanas, abanicos y filtros de tejido, el enclaustramiento y ventilación de material en polvo. Se utilizaran métodos adecuados de contención durante el lijado u otras operaciones similares;
- d. A cubrir, en todo momento mientras estén en movimiento, camiones de caja abierta que transporten materiales que puedan ocasionar la aéreo transportación del material particulado en polvo;
- e. La pavimentación de las vías y el mantenimiento de limpieza en las mismas;
- f. La rápida remoción de tierra u otra materia que se haya acumulado en vías pavimentadas por causa del paso de camiones o el uso de equipo de traslado de tierra, erosión pluvial u otros medios;
- g. Sembrado de arbustos o árboles como barrera natural o la instalación de verjas de planchas de metal como barreras artificiales;
- h. Siembra o plantación de gramas en terrenos expuestos.

En la Regla 404 se establece además, que ninguna persona causará o permitirá emisiones visibles mas allá de la colindancia de la propiedad en donde se originaron las mismas. También, incluye que cuando se escapen contaminantes de aire de un edificio o equipo que ocasionen un estorbo, o violen cualquier reglamento, la JCA podrá ordenar

que el edificio o el equipo que se use en el proceso, manejo y almacenaje esté enclaustrado y ventilado de tal manera que todas las emisiones del edificio o del equipo se controlen de manera que se remuevan o destruyan dichos contaminantes de aire antes de sus emisión. Además, se requiere que toda área, solar o predio de terreno que esté destinado para el estacionamiento de vehículo y que tenga una capacidad mayor de novecientos pies cuadrados, deberá estar pavimentado con hormigón, asfalto, superficie sólida equivalente o estabilizada químicamente, en todos sus accesos y carreteras internas donde vías de rodajes no pavimentadas colindan con carreteras pavimentadas y áreas de estacionamiento.

#### 8. Regla 407

Ninguna persona causará o permitirá la emisión de materia particulada, en cualquier periodo de una hora, proveniente de fuente de proceso alguno, en exceso de la cantidad que se indica en el renglón aplicable a la fuente de acuerdo a la Tabla para una razón de material procesado asignado para dicha fuente( Apéndice 4).

#### 9. Regla 408

La Regla 408 establece que ninguna persona causará o permitirá la emisión de materia particulada proveniente de cualquier planta para la mezcla de concreto asfáltico en exceso de 0.08 gramos por pies cúbicos (estándares secos).

#### 10. Regla 409

La regla 409 presenta que ninguna persona causará o permitirá la emisión de materia particulada en cualquier hora en exceso de 0.05 libras por libra de emisiones sin control desde cualquier fuente de no-proceso.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Introducción**

La investigación propuesta tuvo como meta desarrollar un plan de acción que ayude a disminuir la cantidad de PM que se emite al ambiente en la zona oeste de Ponce. El estudio lo realizamos con el propósito de determinar si existe un problema de contaminación del aire por PM10 en la zona oeste del Municipio de Ponce. Además, buscamos determinar la principal fuente de emisión de PM10 en la zona. Los datos utilizados para esta investigación comprendieron desde el 1 de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre de 2008.

#### **Área de estudio**

El área de estudio se encuentra localizada al sur-oeste de la ciudad de Ponce. Las estaciones de monitoreo de material particulado (PM10 y PM2.5) se encuentran en el techo del edificio donde ubica la defensa civil en la Latitud 18°0'24.55"N y la Longitud 66°37'42.79"W. El Municipio de Ponce es el segundo más grande en extensión territorial en Puerto Rico (Figura 1). Se encuentra ubicado en un extenso valle del Llano Costanero del Sur a cuarenta pies sobre el nivel del mar. Abarca un área de 116 millas cuadradas, equivalentes a 76,444 cuerdas. Su territorio colinda al oeste con Peñuelas, al norte con Adjuntas, Utuado y Jayuya, al este con Juana Díaz y al sur está limitado por el Mar Caribe. La zona sur-oeste de Puerto Rico, donde ubica el municipio de Ponce es tropical semidesértica, con una temperatura promedio de 78.0 grados Farenhight (°F). La

precipitación promedio anual es de 36.10 pulgadas (Rivera, 1999). De acuerdo al censo realizado en el año 2000, el municipio cuenta con una población de 186,475 habitantes, lo que lo convierte en el tercero más poblado del país, después de San Juan (434,374) y Bayamón (224,044).

### **Diseño metodológico**

Para lograr el primer objetivo, analizamos los datos provistos por las estaciones JCA #56 PM10, JCA #56 PM-2.5. Utilizamos los datos disponibles desde el primero de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre de 2008 dado que fueron los más completos disponibles. El periodo de muestreo de las estaciones fue cada tres días por un periodo de 24hrs de 12:00AM a 12:00AM +/- 1hr según establecido en las regulaciones federales. Para el 2008 la frecuencia de los muestreos disminuyó a cada seis días debido a que la JCA no tenía recursos suficientes para mantener la frecuencia de los muestreos. Cabe señalar que los mismos duraron hasta septiembre de 2008 y desde octubre 2008 hasta agosto 2009 no se generaron datos en la zona. Realizamos un análisis completo de los Informes de Filtros de Material Particulado de la JCA para determinar los días que la estación fue impactada por eventos naturales. Esto dado que Puerto Rico es impactado casi todos los años por polvo proveniente del desierto del Sahara y en ocasiones de las cenizas volcánicas de las erupciones del volcán Le Soufriere de la isla Monserrat. Una vez seleccionados separamos los días que hubo evento de los días que no hubo evento. Para cada conjunto de datos preparamos tablas, gráficas y se calculamos el promedio mensual y anual con y sin evento natural. Luego los datos se analizaron en conjunto con los datos de meteorología y con las querellas reportadas para los mismos años para



determinar cualquier tipo de relación que pueda existir entre los mismos. Esto dado que como se desprende de la literatura presentada estos factores meteorológicos afectan las concentraciones de PM en el aire. Además, buscamos determinar si la ubicación de la estación de muestreo es la correcta según lo establecido en los criterios de ubicación en el 40CFR parte 58.

Analizamos, los datos meteorológicos para los años 2006 al 2008 provistos por la estación meteorológica que la JCA opera en el lugar donde se encuentra la estación 56PM10 en Ponce. Esto para determinar el comportamiento de las condiciones meteorológicas con relación a la estación de monitoreo. Analizamos los datos referentes a la dirección del viento, velocidad y precipitación ya que son los factores que principalmente afectan el comportamiento del material particulado. En el caso de la precipitación preparamos tablas y gráficas por meses y anuales para compararlas entre sí y con las concentraciones obtenidas de las estaciones de monitoreo. Esto para determinar el posible efecto de las mismas con relación a las concentraciones de material particulado en la zona. Comparamos la velocidad y dirección del viento anual para los años 2006 al 2008 mediante el uso de gráficas. También determinamos el comportamiento de la dirección y velocidad del viento durante un día (24horas) dividido en intervalos de seis horas para los tres años, para conocer el comportamiento específico del viento durante el día y la noche. Recopilamos las querellas realizadas para los años 2006-2008 por las comunidades y personas afectadas en la zona, provistas por la Oficina Regional de Ponce de la JCA. Clasificamos las querellas por día, mes y año. Preparamos tablas y gráficas por mes, por año y por tipo o fuente. Luego las comparamos y analizamos para ver la relación entre estas y las concentraciones de material particulado PM10 obtenidas.

Además, identificamos cualquier relación de las querellas con los eventos naturales o actividades antropogénicas que pudieran estar relacionados a la contaminación del aire por material particulado en el lugar.

Comparamos los resultados obtenidos con las concentraciones anuales observadas durante el mismo periodo en las estaciones 24PM10 y 7PM10. Esto para comparar la calidad del aire en relación con el área del Bo. Amelia de Guaynabo que es un lugar que fue área no logro para PM10 y actualmente se encuentra en un Plan de Implementación Estatal. Los datos de concentración de PM10 los comparamos con los NAAQS tanto federales como los de California para determinar su cumplimiento. Además se compararon los datos con las escalas del Índice de Calidad de Aire para determinar en que escala se ubican las concentraciones obtenidas en el lugar y por ende la calidad del aire según el Índice.

Para lograr el segundo objetivo y establecer un inventario de fuentes de emisión de material particulado PM10 realizamos varias actividades. En primer lugar utilizamos información provista por la JCA con relación a las emisiones actuales y potenciales de Título V de industrias en la zona para los años 2006-2008. Esto para conocer la cantidad de emisiones que emiten al ambiente y el cumplimiento de las mismas con sus permisos de emisión.

Solicitamos información al personal de la Oficina Regional de Ponce de la JCA de las diferentes industrias que ellos tienen documentado que generan PM al ambiente. Una vez obtenida esta información, realizamos cuatro visitas a la zona para identificar condiciones, actividades o industrias que generan PM en la zona. Con esta información, comparamos los lugares identificados con la información provista por la JCA para

determinar si tenían algún permiso de emisión o si al menos estaban registrados en la JCA.

En las visitas identificamos cuáles son las principales vías o carreteras en la zona bajo estudio y las condiciones de las mismas. Luego verificamos en los datos del Departamento de Transportación y Obras Públicas sobre el flujo vehicular en las carreteras del lugar. Utilizamos los datos de la Autoridad de carreteras del 2000 hasta el 2010. Luego preparamos tablas sobre el flujo vehicular en la zona y buscamos determinar si existe alguna relación con la emisión de material particulado en la zona.

Como parte de las actividades para lograr nuestro segundo objetivo y determinar cuál es la principal fuente de material particulado PM10 en la zona oeste de Ponce se calculó la concentración de PM10-2.5. Como se mencionó al comienzo la JCA opera en el lugar una estación PM2.5 y una PM10. Ambos equipos son métodos de referencia para sus respectivos parámetros. Según información provista por la EPA en caso de que se tengan equipos de referencia para medir concentraciones de PM2.5 y PM10 en un mismo lugar se puede determinar la concentración de PM10-2.5 y comparar los valores a los NAAQS. Según estudios realizados en lugares con equipos de medir PM10 de alto volumen y equipos de medir PM2.5 de bajo volumen (Chow et al., 1999) o equipos de medir PM10 de bajo volumen y PM2.5 de alto volumen (Chow et al., 2005) son buenos candidatos para probar la masa y composición del particulado PM10-2.5 (US EPA, 2009). Para ayudar a discernir entre las fuentes de emisiones analizamos los resultados de la estación 56PM10 con los de la estación 56PM2.5 y por diferencia calculamos la concentración del particulado PM10-2.5 para los años 2006 y 2008. No se realizó para el 2007 ya que no hubo datos de PM2.5 para ese periodo. Luego calculamos el promedio de

concentración y el porcentaje de PM10-2.5 en la muestra de PM10 por mes y anual. También calculamos el porcentaje de PM2.5 en la muestra de PM10 mensual y anual. Una vez obtuvimos los datos calculamos la correlación existente entre el PM10 y el PM10-2.5. Con los resultados obtenidos, así como todos los conocimientos adquiridos durante la investigación, desarrollamos un Plan de Acción con el propósito de ayudar a controlar el polvo fugitivo que afecta el área de estudio.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como meta desarrollar un plan de acción que ayude a disminuir la cantidad de PM10 que se emite al ambiente en la zona oeste de Ponce. A continuación se presentan los resultados y discusión.

**Evaluar si existe relación de las concentraciones de material particulado recolectado en la zona, con los factores meteorológicos y querellas reportadas para conocer cual es el comportamiento del PM10 y poder determinar si existe un problema de contaminación de aire por PM10 en la zona.**

#### **Concentraciones de material particulado**

Para lograr nuestro primer objetivo analizamos los datos provistos por las estaciones JCA #56 PM10, JCA #56 PM-2.5 para los años 2006-2008 dado que eran los más completos disponibles.

Para el año 2006 observamos que hubo cuatro días en los que el área fue impactada por emisiones, dos de estos por cenizas del Volcán Soufriere, de la Isla Monserrate y dos por polvo del Desierto del Sahara. En el caso del primero el impacto fue los días 7 y 10 de junio reportando concentraciones de  $104.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $81.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el caso del polvo del Sahara el impacto fue el 28 de junio y el 17 de septiembre con concentraciones de  $89.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $108.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El promedio mensual de concentración de material particulado para el mes de junio fue de  $55.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que sin el efecto de

las cenizas fue de  $42.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que implica un aumento de 12.5%. En el caso del mes de julio el promedio fue de  $52.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $48.4\mu\text{g}/\text{m}^3$  sin evento lo que implica una diferencia de 4.1%. Para el mes de septiembre donde la concentración observada fue la más alta el promedio mensual fue de  $70.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que sin evento fue de  $65.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  lo que implica un aumento de 4.3% (Tabla 1 y Figura 2).

Para el año 2007 observamos que la zona fue impactada por polvo del Desierto del Sahara los días 18 de mayo y 2 de julio presentando concentraciones de  $108\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $78\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Para el mes de mayo el promedio mensual con el efecto del polvo del Sahara fue de  $40.9\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que sin el efecto el promedio fue de  $32.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  lo que implicó un aumento de 8.4%. En el mes de julio el promedio mensual con evento fue de  $47.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que sin evento el promedio fue de  $37.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  lo que implica un aumento de 9.8%. El mes con el promedio de concentración fue julio con  $47.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual estuvo bajo los efectos de polvo de Sahara mientras que el segundo mes con el promedio de concentración más alto fue junio con  $43\mu\text{g}/\text{m}^3$  mas sin embargo, no tuvo evento (Tabla 2 y Figura 3)

Para el año 2008 no ocurrieron eventos naturales que afectaran la zona de estudio. A pesar de esto para el mes de agosto se observó un promedio de concentración de  $54.4\mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual es significativo (Tabla 3 y Figura 4).

## **Meteorología**

Como parte de las actividades para lograr nuestro primer objetivo tomamos los datos meteorológicos provistos por la JCA de la estación meteorológica que opera en la

zona bajo estudio en el techo de la Oficina para el Manejo de Emergencias del Municipio de Ponce que es el mismo lugar donde se ubica la estación #56PM10.

Para los años 2006, 2007 y 2008 el promedio de precipitación anual fue de 36.31 pulgadas, 39.09 pulgadas y 43.63 pulgadas. Observamos que hubo un aumento en la cantidad de precipitación del 2006 al 2007 de 2.78 pulgadas, mientras que del 2007 al 2008 fue de 4.54 pulgadas. En total del año 2006 al 2008 hubo un aumento en la cantidad de 7.32 pulgadas lo que representa un 20.0% más (Tabla 4 y Figura 5).

En el 2006, en todos los meses hubo precipitación y en seis de estos sobre tres pulgadas. El mes que mayor precipitación tuvo fue el mes de marzo con 6.56 pulgadas, mientras que el que menos tuvo fue diciembre con menos de una pulgada. En los meses de abril, mayo, junio y julio cada uno obtuvo al menos 3.5 pulgadas de precipitación (Tabla 4 y Figura 6).

Para el año 2007, todos los meses reflejaron al menos una pulgada de precipitación o más con excepción de los meses de enero y febrero. El mes que mayor precipitación recibió fue el mes de octubre con 10.83 pulgadas de precipitación. El periodo con mayor precipitación fue de agosto a diciembre (Tabla 4 y Figura 7).

El año 2008 fue en el que mayor cantidad de lluvia se observó no obstante la misma se concentró en los meses de agosto a octubre reflejando una precipitación de 35.1 pulgadas de precipitación. El mes con mayor precipitación fue el de septiembre con más de 20 pulgadas de lluvia, mientras que el mes con menos precipitación fue diciembre con menos de una pulgada (Tabla 4 y Figura 8).

Durante el 2006, la velocidad del viento promedio fue de 8.6 millas por hora (mph), proveniente mayormente del este tanto del norte como del sur con máximas de

hasta 24.2 mph provenientes del sur-este (Figura, 9). Durante el 2007, la velocidad del viento promedio fue de 8.4 millas por hora (mph), proveniente mayormente del este tanto del norte como del sur con máximas de hasta 24.2 mph provenientes del sur-este (Figura, 10). Durante el 2008, la velocidad del viento promedio fue de 8.6 millas por hora (mph), proveniente mayormente del este tanto del norte como del sur con máximas de hasta 24.2 mph provenientes del sur-este (Figura, 11). En general durante el periodo comprendido del 2006 al 2008 la velocidad promedio fue de 8.5 mph mayormente del este tanto del norte como del sur. El promedio de las velocidades máximas alcanzadas durante el 2006 al 2008 fue de 24.2 mph provenientes del sur-este. Según los datos obtenidos de la estación meteorológica que opera la JCA en el lugar la velocidad y dirección del viento durante el periodo de estudio (2006-2008) fue mayormente del este tanto del norte como del sur (Figura 12).

Al analizar el comportamiento de la velocidad y dirección del viento durante el día para los años 2006 al 2008 reflejó lo siguiente: 12:00am a 6:00am la velocidad del viento promedio fue de 3.8 mph proveniente del oeste; 6:00am a 12:00pm la velocidad del viento promedio fue de 10.1 mph proveniente del este, sur-este, nor-este; 12:00pm a 6:00pm la velocidad del viento promedio fue de 14.0 mph proveniente del sur-este; 6:00pm a 12:00am la velocidad del viento promedio fue de 6.3 mph proveniente del nor-este. Al analizar los datos encontramos que solamente sopla del oeste y con poca intensidad de media noche a seis de la mañana que es cuando menos actividad vehicular e industrial hay en el lugar de estudio. El resto del día y la tarde (18hrs) el comportamiento del viento es a soplar del este alcanzando presentando el promedio de máximo velocidad de seis de la mañana a seis de la tarde (Tabla 5).



## Querellas

Durante el periodo del año 2006 al 2008 hubo un total de 68 querellas por material particulado en la zona de Ponce. Para el 2006 se reportaron 21 querellas, para el 2007 15 querellas y para el 2008 fueron 32. Al ver todos los datos se constató que las querellas a del 2006 al 2007 tuvieron una disminución de seis querellas. Por el contrario, para el 2008 hubo 17 querellas más que el del año 2007 (Tabla 6 y Figura 13).

Para el año 2006 se reportaron un total de 21 querellas por problemas de emisiones de material particulado. Para este año, los meses con mayor cantidad de querellas fueron enero, agosto y octubre con cuatro querellas cada uno. Para los meses de marzo, abril y mayo no hubo querellas reportadas (Tabla 6 y Figura 14). Se observó siete querellas por procesos de construcción, cuatro por emisiones de industrias, una por resuspensión y liberación de camiones, una sin localización específica y siete por emisiones de la cementera Cemex. La mayor cantidad de querellas fue por actividades en la Cemex y por construcciones. Entre estas construcciones se encontraban dos de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados y dos de complejos de vivienda. Básicamente el reclamo en las querellas fue una advertencia sobre la falla en los controles para evitar la liberación de material particulado al aire (Tabla 7 y Figura 15).

Para el año 2007 el mes con mayor cantidad de querellas fue agosto con seis, mientras que para los meses de febrero, marzo, mayo, junio y septiembre no hubo querellas. En el caso del mes de agosto que fue el que más tuvo fue una por camiones, una por construcción y cuatro por Cemex (Tabla 6 y Figura 16). En total para este año se reportaron 15 querellas. Dos querellas fueron por construcción, dos por industrias, una

por vehículos, una sin lugar específico y nueve por labores en la Cemex (Tabla 7 y Figura 15).

Para el año 2008 los meses de mayor incidencia de querellas fueron el mes de mayo con 7 y el de octubre con 6. Cabe señalar que todos los meses a excepción de noviembre y diciembre tuvieron al menos una querella (Tabla 6 y Figura 17). Para este año, se reportaron un total de 32 querellas lo que implica que fue el año con más querellas. Dos querellas fueron por construcción, cuatro por industrias, dos sin lugar específico y 24 por las funciones de la Cemex (Tabla 7 y Figura 15).

### **Relación de la concentración de PM10 con datos meteorológicos**

Para los años 2006, 2007 y 2008 los promedios de concentración de PM10 anuales fueron de  $43.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $38.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $35.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Estos números en términos estadísticos sugieren que la calidad del aire en la zona ha mejorado. No obstante, cuando hacemos un análisis más profundo podemos observar que la realidad podría ser otra. En el 2008 ningún evento afectó la zona. Al eliminar los días que ocurrió evento los porcentajes son  $41.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $36.7\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $35.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente (Tabla 8 y Figura 18). El coeficiente de Pearson para los datos de concentración de PM10 anual para los años 2006 al 2008 con evento y sin evento muestran una correlación positiva casi perfecta de 0.9876. Lo que indica que a mayor cantidad de eventos naturales que producen material particulado mayor es la concentración de PM10 observada.

En el análisis de los datos de precipitación del 2007 al 2008 se observó que para el 2008 fue el año más lluvioso con 43.63 pulgadas de precipitación (Figura 5). Los datos de concentración de PM10 en el 2008 para el mes de septiembre tuvo un promedio

de  $26.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El 21 de septiembre la concentración fue de solamente  $5.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aparentemente la precipitación afectó la concentración del PM10 causando una disminución drástica de los valores que regularmente se observan durante todo el año. El valor del coeficiente de Pearson para determinar la relación entre la precipitación anual y las concentraciones de PM10 del 2006 al 2008 fue de  $-0.9617$ . Este valor indica que existe una correlación negativa muy fuerte. El coeficiente indica que hay una dependencia casi total entre las dos variables que se conoce como correlación inversa. Esta dependencia implica que a medida que aumenta la precipitación la concentración de PM10 disminuye.

### **Comparación con estaciones de Guaynabo**

El área del barrio Amelia de Guaynabo actualmente se encuentra bajo un Plan de Implementación Estatal (SIP, por sus siglas en inglés) para PM10. Esto ya que para el 1987 tuvo una excedencia que causó que se convirtiera en un área no-logro. Este lugar es uno industrializado al igual que la zona bajo estudio en Ponce. Se compararon los promedios anuales de concentración de PM10 para los años 2006, 2007 y 2008. Se tomaron los datos de concentración anual de las estaciones 7PM10 y 24PM10 para estos años. Para los años 2006, 2007 y 2008 los promedios anuales de concentración de material particulado de la estación 56PM10 fueron  $43.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $38.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $35.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. La estación 24PM10 presentó concentraciones anuales de  $39.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $38.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $34.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Por último la estación 7PM10 presentó concentraciones de material particulado de  $32.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $30.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $27.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente (Tabla 9 y Figura 19). Para los tres años el promedio anual de

concentración de la estación 56PM10 estuvo por encima del presentado por la estación 7PM10. En el caso de la estación 24PM10 para el 2006 y 2008, el promedio anual de la estación 56PM10 estuvo por encima mientras que para el 2007 estuvo casi idéntico. La estación 7PM10 reflejó un porcentaje de desviación promedio para los años 2006 al 2008 de  $-18.6\%$  mientras que la 24PM10 reflejó un porcentaje de desviación de  $-3.1\%$ . Esto indica que las concentraciones de PM10 observadas en la estación 56PM10 son mayores a las observadas en las estaciones 7PM10 y 24PM10.

### **Comparación de los resultados con los NAAQS**

Al comparar los datos de concentración de PM10 con los NAAQS establecidos por la EPA, los valores presentados están muy por debajo del único estándar de PM10 que es de  $150.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24hrs. A pesar de esto, según se ha presentado en este trabajo, son muchos los trabajos que relacionan el PM10 con daños adversos a la salud inclusive en concentraciones por debajo que las que observamos en esta zona de Ponce.

En otros lugares como California se mantienen unas normas de calidad de aire para PM más restrictivas. En el caso de PM10 la norma es de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas y de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio aritmético anual. Por otro lado, en el caso de PM2.5 se estableció una sola norma de  $12\mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio aritmético anual (CEPA, 2009).

De igual forma, la Organización Mundial de la Salud para el año 2005 en la Guía de Calidad del Aire (AQG, por sus siglas en inglés) por primera vez estableció un valor guía para el PM. Esto con el objetivo de lograr la menor concentración del mismo. Esto, dado que no se ha encontrado un umbral para el PM por debajo del cual no se observen daños a la salud. En este caso el valor guía establecido para PM10 es de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un

promedio anual y  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio de 24hrs. Para PM2.5 el valor guía es de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio anual y  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio de 24hrs (WHO, 2006).

Si aplicáramos los Estándares de California o los valores de la Guía de la WHO, el panorama sería distinto. Para los años 2006, 2007 y 2008 los promedios de concentración de PM10 anuales fueron de  $43.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $38.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $35.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Estos valores anuales son casi el doble de la Norma de California incluyendo el año que más bajo fue el valor. En el caso del Estándar diario para el 2006 se hubiese sobrepasado en 29 ocasiones, en el 2007 en 16 ocasiones y en el 2008 en 9 ocasiones.

### **Comparación con el Índice de Calidad de Aire de la JCA**

Comparamos los valores obtenidos de las estaciones de monitoreo de PM10 con el Índice de Calidad de Aire que opera la JCA para informar al público sobre la calidad del aire en la zona donde viven y obtuvimos los siguientes resultados. El valor del índice se calcula utilizando el dato de concentración el cual mediante el uso de una fórmula es convertido al valor del índice. Realizamos los cálculos correspondientes y se determinamos que una concentración de  $55\mu\text{g}/\text{m}^3$  o más de PM10 catalogaría la calidad del aire en una zona moderada de contaminación. Según el AQI en condiciones moderadas las personas sensitivas y con problemas respiratorios deben tomar precauciones y no exponerse por tiempo prolongado a actividades al aire libre. Si aplicáramos el Índice a los datos obtenidos para el año 2006 hubiesen ocurrido al menos 24 días con condiciones moderadas, 14 días para el 2007 y 5 días para el 2008. En el 2008 solamente hubo datos hasta septiembre y la frecuencia de muestreo fue cada 6 días

y no cada 3 como lo fue en el 2006 y 2007. Estos datos presentan la cantidad mínima de días con calidad de aire moderada dado que de establecerse una estación de monitoreo continuo el valor se calcularía diariamente durante todo el año.

**Realizar un inventario de posibles fuentes de emisión de particulado de PM10, para determinar cual es la principal fuente de emisión de PM10 en la zona.**

### **Inventario de fuentes de emisión**

Para lograr el segundo objetivo y establecer un inventario de fuentes de emisión de particulados de PM10 realizamos varias actividades. En primer lugar utilizamos información provista por la Oficina de Validación y Manejo de Datos de la JCA con relación a las emisiones actuales de Título V de industrias en la zona para los años 2006-2008. De esta revisión encontramos que hay tres fuentes existentes para Título V en la zona de Ponce. Cemex Puerto Rico que tuvo unas emisiones actuales de PM10 para los años 2006 y 2008 de 149.34 ton/año y 156.89 ton/año respectivamente. La BFI de Ponce que tuvo unas emisiones actuales de PM10 para los años 2006 y 2008 de 13.2 ton/año y 12.83 ton/año respectivamente. La Destilería Serrallés que tuvo unas emisiones de PM10 para los años 2006 y 2008 de 8.85 ton/año y 4.65 ton/año respectivamente(Tabla 10). No se presentaron datos para el 2007 ya que se hicieron las gestiones en la JCA mas sin embargo no se pudieron conseguir. En el caso de la Cemex encontramos que es la principal fuente de PM10 en Ponce y la sexta a nivel de Puerto Rico según los datos provistos en por la JCA en relación a emisiones de Título V (JCA, 2008b). No

obstante, a pesar del valor observado su Permiso de Fuente de Emisión le permite liberar hasta un máximo de 1,148 ton/año.

Luego visité la Oficina Regional de Ponce para verificar las fuentes de emisión que poseen en sus expedientes. De esta revisión se identificaron veinte industrias o comercios que generan material particulado al ambiente (Tabla 11). Luego realicé visitas al lugar bajo estudio en compañía de personal de la JCA con el propósito de identificar condiciones o lugares con posible o evidente liberación de material particulado. De estas visitas pude constatar el problema de material particulado en los techos y superficies de los autos. Identificamos en la zona oeste de Ponce que es la de nuestro interés siete industrias o comercios como las de mayor potencial de emisión en la zona de PM (Tabla 12). Buscamos información de las industrias en los expedientes de la Oficina Regional de Ponce de la JCA y se encontró que no todas estaban contabilizadas en la misma y faltaban expedientes (no se pudieron localizar). De la revisión realizada se encontró que de las ocho cuatro tenían expediente en la JCA. Las industrias con información en la JCA fueron Cemex, Puerto Rico, Cemex Concreto, BFI of Ponce y South P.R. Concrete Works, Inc.. Las otras industrias que se dedican a la extracción de corteza terrestre no informan a la JCA sobre la liberación de material particulado. Estas industrias son: Cantera La Matilde, Cantera La Feliz, Cantera Angóla y Cantera Plant Site. Estas no informan a la JCA las emisiones de material particulado ya que no procesan las extracciones de piedra caliza o barro. Este es un factor bien importante ya que en estudios se ha demostrado la alta contribución de dichos trabajos. Por ejemplo, la ciudad de Jordania se caracteriza por tener niveles altos de PM en especial las partículas gruesas del PM10. En un estudio realizado para determinar la fuente del PM, se encontró que los

camiones cargados con piedra caliza era un factor determinante en la resuspensión del PM10. De hecho se estimó que los camiones cargados emitían, un promedio de 6018 mg/km. Se encontró además que en las calles al pasar los vehículos aunque no fuesen camiones resuspendían el particulado (Abu-Allaban, Hamasha & Gertler, 2006). La extracción y la elaboración de piedra caliza es una fuente importante de partículas gruesas de PM10 y partículas finas, la cual es transportada por el viento a los alrededores y tiene un impacto negativo en el ambiente (Bluvshstein, Mahrer, Sandler, & Rytwo, 2011).

### **Análisis del Tránsito**

Verificamos los datos de la Autoridad de Carreteras para conocer el flujo vehicular en la zona. A la altura del Km. 8.0 de la PR-123 se encuentra la Industria Cemex PR. Esta carretera es una de las más transitadas por camiones ya que se conecta con varias calles que son altamente frecuentadas por camiones por el tipo de industria que se encuentra en la zona (Tabla 13 y Figura 20). Para el año 2000 según los datos de la Autoridad por la PR-123 transitaron 21,700 vehículos al sur entrando por la Urb. El Madrigal, lo cual representa una alta cantidad siendo una vía secundaria. Otra calle en la zona de gran impacto lo es la PR-132 por la cual para el 2009 entre la PR-500 y la Urbanización Jardines del Caribe transitaron 19,117 vehículos. Mientras que en la PR-500 para el año 2008 entre la Calle Los Robles y la calle Baramaya transitaron 29,409 vehículos (DTOP, 2010) (Tabla 13 y Figura 21).

Las emisiones de PM en los vehículos se clasifican en dos tipos: las que provienen del escape y las que no son del escape. En el caso de las que no son producto de la combustión es difícil cuantificarlas ya que provienen del desgaste de las gomas, los



frenos, desgaste de la carretera y la resuspensión de polvo (Brizio, Genon & Borsarelli, 2007). La zona bajo estudio al oeste de Ponce tiene un comportamiento industrial que incluye como se mencionó anteriormente una cementera, un relleno sanitario y varias canteras. Todas estas actividades conllevan el acarreo de materiales continuamente por vehículos pesados prácticamente todo el día, por lo que se presume que el flujo vehicular mayor en la zona se debe a estos vehículos. Esto lamentablemente, no se pudo confirmar con los datos de la Autoridad ya que estos solo poseen información de la cantidad de vehículos en algunas áreas y las mismas no distinguen entre vehículos pesados y autos.

### **Análisis de las concentraciones PM10-2.5**

Comparamos los resultados de la estación 56PM10 con los de la estación 56PM2.5 y por diferencia se calculó la concentración del particulado PM10-2.5 para los años 2006 y 2008. No se realizó para el 2007 ya que no hubo datos de PM2.5 para ese periodo. Se observó que el promedio anual para el 2006 fue de  $39.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el 2008 fue de  $28.4\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla 14 y 15).

Para el 2006 el mes con mayor concentración de PM10-2.5 fue septiembre con  $61.8\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el más bajo fue el mes de diciembre con  $30.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla16). Con relación al PM2.5 observado representó el 17.7% del promedio anual de PM10 reportado para el año 2006. El contenido de material particulado de PM10-2.5 presente en la muestra anual del material particulado fue de PM10 fue de 82.3% .

Para el 2008 el mes con mayor concentración de PM10-2.5 fue agosto con  $44.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que el mes con el promedio de concentración más bajo fue septiembre con  $21.0\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla 17). El contenido de material particulado PM2.5 en la

muestra del material particulado PM10 para el año 2008 fue de 20.3%. El contenido de material particulado PM10-2.5 presente en la muestra para el 2008 fue de 79.7%.

Al comparar los datos de PM10 para el 2006 con los de PM10-2.5 del mismo año observamos que los valores son comparativos con una correlación de  $r=0.9971$  la cual es excelente e indicativa de que hay una asociación fuerte entre los dos grupos (Tabla 18).

Al comparar los datos de PM-10 para el 2008 con los de PM10-2.5 para el mismo año observamos que los valores observados son comparativos con una correlación de  $r=0.9417$  la que al igual que para el 2006 es excelente. Este valor indica que existe una relación positiva fuerte entre las variables comparadas (Tabla 18).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como parte de esta investigación establecimos como meta, el desarrollar un Plan de Acción que ayude a disminuir la cantidad de material particulado que se emite al ambiente en la zona oeste de Ponce. Además se establecieron dos preguntas de investigación:

- ¿Existe un problema de contaminación de aire por PM10 en la zona oeste del Municipio de Ponce?
- ¿Cuál es la principal fuente de emisión de PM10 en la zona oeste del Municipio de Ponce?

Para poder contestar las preguntas y lograr nuestra meta establecimos dos objetivos principales. En primer lugar, evaluar si existe relación entre las concentraciones de material particulado recolectado en la zona, factores meteorológicos y querellas reportadas para conocer cual es el comportamiento del PM10 y así poder determinar si existe un problema de contaminación de aire por PM10 en la zona. En segundo lugar, realizar un inventario de posibles fuentes de emisión de particulado de PM10, para determinar cual es la principal fuente de emisión de PM10 en la zona.

#### **Hallazgos**

El estudio nos permitió conocer varias características de la zona de vital importancia para poder cumplir con nuestra meta y objetivos. A continuación se presentan los hallazgos más importantes:

- Las concentraciones de PM10 obtenidas para los años 2006 al 2008 reflejan que no se violaron los NAAQS.
- La mayor cantidad de querellas reportadas fue por labores realizadas en la Cemex seguida por construcciones y luego industrias.
- Las querellas se reportaron en su mayoría en las comunidades que viven al oeste o en la misma zona donde se encuentran la mayoría de las industrias.
- Las concentraciones de PM10-2.5 tuvieron una correlación excelente con las concentraciones de PM10. Lo que sugiere que la composición del PM10 mayormente es de partículas gruesas que comúnmente se asocian con resuspensión de polvo por vehículos, construcciones y acarreo de materiales polvorientos.
- El promedio anual de la estación 56PM10 fue mayor en todos los años que los presentados por la 7PM10 y mayores para el 2006 y prácticamente iguales para el 2007 y 2008 con relación a la 24PM10 estaciones que conforman el SIP para PM10 del Bo. Amelia de Guaynabo.
- Al comparar las concentraciones encontradas con el Índice de Calidad de Aire de la JCA durante los años 2006 al 2008 hubiesen ocurrido al menos 43 días con una calidad de aire moderada lo que implicaría efectos adversos a la salud en personas sensitivas.
- Al comparar los promedios anuales y las concentraciones diarias con los CAAQS y la Guía de PM de WHO las concentraciones reportadas por la estación 56PM10 están muy por encima de dichos estándares y valores.

- Según los datos de velocidad y dirección del viento la estación 56PM10 no es representativa para las comunidades que se ubican viento a bajo de las principales fuentes de emisión ya que la misma se encuentra viento arriba.
- Existen varias industrias o comercios cuyas actividades generan PM10 al ambiente. Los dos principales contribuyentes según el análisis de los datos provistos por la JCA son BFI of Ponce y Cemex Puerto Rico, no obstante ninguno sobrepasó la cantidad de emisiones de PM10 que puede liberar al ambiente según su permiso de fuente de emisión.
- Existen al menos cuatro industrias que se dedican a la extracción de corteza terrestre (Piedra caliza, Barro, etc.) las cuáles al no procesar el material no tienen que informar la cantidad de PM10 que liberan al aire.
- No hay registros detallados que midan la cantidad de camiones y vehículos que transitan por las principales vías de la zona (Carr. 123, Carr. 132, Carr. 500, Calle Baramaya). Además, en estas mismas carreteras se observó gran cantidad de polvo en las superficies el cual es re-suspendido por los vehículos que transitan y el viento.
- El Municipio de Ponce expide permisos para construcciones y la JCA no tiene información al respecto a no ser que por alguna querrela o inspección se solicite.
- Existen varias construcciones y trabajos de infraestructura por parte de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, Autoridad de Carreteras, Autoridad de Energía Eléctrica cuyas actividades generan PM mas sin embargo no son tomados en cuenta como parte de las fuentes de emisión.

Como parte de este trabajo, la primera pregunta del estudio fue: ¿Existe un problema de contaminación del aire por PM10 en la zona oeste de Ponce? Los datos encontrados reflejan que no hubo violaciones a los NAAQS establecidos por la EPA. Sin embargo, esto no implica que el lugar esté ajeno de contaminación de aire por PM10. Son numerosos los estudios que se han realizado a través del mundo que demuestran el efecto detrimental del PM a la salud inclusive en concentraciones bajas. La Escuela Graduada de Salud Pública del Recinto de Ciencias medicas de la Universidad de Puerto Rico realizó un estudio en las urbanizaciones de Morell Campos, Las Delicias y Villa del Carmen ubicadas en el área de investigación. En este estudio se encontró que dos de cada tres personas que viven en el lugar padecen alguna enfermedad respiratoria (Acosta, et al., 2007). Al mismo tiempo según el análisis realizado entendemos que la estación 56PM10, no es representativa de las comunidades afectadas ya que se encuentra viento arriba de las principales fuentes de emisión de PM y las comunidades. Por esta razón, se podría estar sub-estimando la cantidad de PM10 que se libera al ambiente en la zona lo que implicaría que existe una alta probabilidad de que las concentraciones de PM10 sean mucho mayores a las reportadas. De igual forma al comparar los datos con los reportados por las estaciones en el Bo. Amelia de Guaynabo que está bajo un SIP de PM10 se observó que las concentraciones de la estación 56PM10 son mayores para todos los años con relación a la 7PM10 y prácticamente iguales o mayores a los datos de la estación 24PM10.

Del análisis realizado de los datos antes presentados, tomando en cuenta los estudios realizados sobre problemas de salud por PM10, los valores presentados en el

Índice de Calidad de Aire de la JCA y los Estándares existentes en otros lugares como California, concluimos que la zona oeste de Ponce tiene un problema serio de contaminación por PM10.

La segunda pregunta del estudio fue ¿Cuál es la fuente principal de PM10 en la zona oeste de Ponce? Según la información analizada provista por la JCA sobre las fuentes principales de PM10 la principal fuente es la Cemex Puerto Rico seguida de BFI of Ponce. De la evaluación encontramos que la Cemex cumple con la cantidad de emisión de PM10 establecida en su permiso, de hecho para junio de 2007 instaló un sistema nuevo de filtros de bolsa en sustitución de los filtros electrostáticos que utilizaban que los ayudó a disminuir la cantidad de material particulado que liberan al ambiente (Hernández, 2009). De las fuentes de emisión identificadas a parte de las que poseen permiso Título V se observamos que existen al menos cuatro canteras que al no ser fuentes de procesos no se le requiere que informen la cantidad de material particulado que liberan. Al mismo tiempo encontramos que por el tipo de industria que opera en la zona la mayoría de los vehículos que transitan por la zona son pesados. En la zona existen varias construcciones tanto privadas como gubernamentales. Por las razones antes presentadas concluimos que la principal causa de contaminación por material particulado en adición a las industrias Título V son las fuentes no localizadas como lo es la liberación de PM por los vehículos pesados de transporte, la resuspensión del particulado por los vehículos que transitan las carreteras, la carga y descarga de camiones de materiales polvorientos tanto en construcciones como en los lugares de extracción de corteza terrestre.

## **Recomendaciones**

La mala planificación ha sido uno de los principales causantes de que la zona oeste de Ponce se encuentre en las condiciones que se encuentra hoy día. Es necesario que las Agencias del Gobierno tomen acción para planificar que el desarrollo urbano e industrial sea uno amigable al ambiente y a los residentes. Dado que ya existe un problema por contaminación se deben tomar una serie de acciones que redunden en mejorar las condiciones de la calidad del aire y el ambiente en el lugar y así garantizar una buena calidad de vida a los residentes. A continuación se presentan varias recomendaciones como producto del estudio realizado:

1. Se debe regular las fuentes estacionarias de no-proceso como las canteras de manera que provean información sobre la cantidad de PM que liberan al aire como resultado del proceso de extracción, de carga y acarreo de los mismos.
2. Al momento de solicitar permiso para una construcción ya sea público o privado se debe requerir someter información sobre la cantidad de PM que sus actividades podrían liberar al ambiente por el tiempo que dure la actividad y un plan de las tareas que realizarán para disminuir o evitar su liberación.
3. La JCA y el municipio autónomo de Ponce deben establecer políticas claras del proceso para compartir información sobre toda fuente que pueda liberar PM al ambiente incluyendo, pero no limitándose a construcciones privadas o públicas, permisos de extracción etc.
4. El municipio de Ponce debe crear ordenanzas municipales que permitan regular el tránsito de vehículos pesados por las vías públicas.



5. El Departamento de Transportación y Obras Públicas debe desarrollar e implantar estrategias para medir la cantidad de camiones que transitan en especial en áreas donde existen núcleos urbanos en conjunto con varias industrias que utilizan continuamente camiones pesados para el acarreo de sus productos y materiales.
6. El Departamento de Salud debe hacer estudios de prevalencia de enfermedades tanto respiratorias como de la piel y el corazón en el lugar.
7. La JCA debe instalar una estación de monitoreo continuo en el lugar para proveer un Índice de Calidad de Aire para la zona.
8. La JCA debe establecer al menos una estación viento abajo de la principal fuente de emisión Cemex para comparar con los datos ofrecidos en la estación 56PM10.
9. La JCA debe realizar estudios de caracterización química a las muestras de particulado de las estaciones existentes y las que se propone que se instalen.

### **Limitaciones del estudio**

Como parte del estudio se encontró que la mayor limitación fue la falta de información por parte de agencias gubernamentales. A continuación se detallan las mismas:

- No se pudieron obtener los datos de concentraciones de material particulado para los años 2009 y 2010 en la JCA. En el caso del 2009, no se completaron los muestreos por problemas económicos. En el 2010 al momento de realizar la investigación aún no se habían terminado de generar los datos de las estaciones.

- La JCA no tenía un registro de todas las fuentes de emisión de PM10 dado que el municipio de Ponce otorga permisos de construcción y la información no es compartida con la JCA.
- No se pudo determinar la cantidad de vehículos pesados que transitan por la zona del estudio dado que no existe un registro local de los mismos.

La contaminación del aire por material particulado es una de las principales causas de problemas respiratorios en las personas especialmente en niños y personas de edad avanzada. El evaluar la contaminación del aire por PM10 en lugares como la zona oeste del municipio de Ponce es de mucha importancia para conocer la calidad del aire y los principales contribuyentes a la misma. La falta de planificación y controles en las fuentes de PM son los principales contribuyentes al polvo fugitivo en la zona oeste de Ponce. Con la información obtenida en este estudio desarrollamos un Plan de Acción cuya meta principal es el disminuir las concentraciones de PM que se liberan al aire en la zona y sirva de modelo a seguir en otros lugares con condiciones similares. La implantación de un Plan como el que aquí desarrollamos ayudará a controlar la contaminación del aire por PM y al mismo tiempo promoverá una mejor calidad de vida a los residentes del lugar.

## **CAPÍTULO VI**

### **PLAN DE ACCIÓN**

Como parte de nuestra investigación establecimos la meta de desarrollar un Plan de Acción que ayude a disminuir la cantidad de material particulado PM10 que se libera al ambiente en la zona oeste de Ponce. A continuación se presenta el Plan basado en los conocimientos adquiridos durante la investigación:

#### **Situación encontrada:**

Existe un problema de contaminación por material particulado PM10 en la zona oeste del municipio de Ponce.

#### **Objetivo 1:**

Desarrollar un Plan de Acción que ayude a disminuir la cantidad de material particulado PM10 en la zona oeste de Ponce.

#### **Estrategia:**

- a. Regular más estrictamente las fuentes estacionarias no-proceso como las canteras y lugares de remoción de corteza terrestre.
- b. Requerir que ninguna persona ya sea privada o del gobierno pueda comenzar una actividad en la que se altere un área de superficie de más de 5,000 pies cuadrados a no ser que provea un Plan para el Control de Polvo Fugitivo.
- c. Crear ordenanzas municipales para obligar a las industrias que operan en el lugar a mantener las calles y carreteras libres de acumulación de polvo.

- d. El municipio de Ponce y la JCA deben unir esfuerzos para vigilar que se cumpla con la regla 404 establece que ninguna persona causará o permitirá que materiales se manipulen, transporten o almacenen en un edificio y sus dependencias o una carretera se usen, construyan, alteren, reparen, o demuelen sin antes tomar las debidas precauciones para evitar que la materia particulada gane acceso al aire.
- e. Se debe crear un comité en la Oficina de Planificación del municipio para que se desarrolle un plan de reforestación del área afectada.

**Actividades:**

- 1. Crear un comité que establezca requisitos de cumplimiento más estrictos a las canteras y lugares de extracción de corteza terrestre en cuanto a la liberación de material particulado al ambiente. Estos requisitos deberán incluirse en el Reglamento de Aire de la JCA.
  - i. La solicitud de permiso de extracción deberá presentar un cálculo de la cantidad de PM que liberarán y con el un Plan de Control de PM de acuerdo con los parámetros establecidos en el Reglamento de Aire de la JCA.
  - ii. Someter, a la JCA un informe mensual de la cantidad de PM liberado.
- 2. Solicitar a la Oficina de Permisos del Municipio Autónomo de Ponce, que realice una evaluación de los requisitos para emitir los permisos de construcción y de uso y que se le requiera a todo proyecto que conlleve un impacto a la superficie de más de 5,000 pies cuadrados el

cumplir con un Plan de Control de Material Particulado previo a comenzar el proyecto.

3. Promover buenas relaciones entre las industrias y la comunidad realizando actividades de limpieza y embellecimiento de la zona.
4. Establecer ordenanzas municipales que vayan acorde con la Regla 404 del Reglamento para el Control de la contaminación atmosférica.
5. La JCA deberá realizar inspecciones regulares de las áreas para ver el cumplimiento con las regulaciones ambientales.
6. Solicitar al Departamento de Transportación y Obras Públicas que realice inspecciones rutinarias de los camiones que transitan por el lugar.
7. La Oficina de Ornato del Municipio Autónomo de Ponce debe desarrollar un plan de revitalización y reforestación de la zona.
  - i. La Reglamentación a crearse obligará a las industrias de la zona a que mantengan las calles limpias y reforesten.

**Responsable:**

La responsabilidad sería del municipio, el DTOP y la JCA.

**Costo aproximado:**

En el caso de la nueva reglamentación, las inspecciones y las ordenanzas no tendrían un costo definido ya que serían realizadas por la JCA, el DTOP y el municipio autónomo de Ponce. El costo a las industrias dependería de las exigencias del nuevo Reglamento y las Ordenanzas, por lo que se calcularía luego.

**Periodo de implantar la estrategia:**

Un año

**Resultado esperado:**

Se espera que con estas medidas la contaminación del aire por material particulado disminuya un 35.0%.

**Situación encontrada:**

En la JCA no hay un registro específico de todas las fuentes que generan material particulado al ambiente incluyendo las de proceso y no proceso.

**Objetivo 2:**

Preparar un programa que cuente con un archivo electrónico donde se encuentren documentadas todas las actividades que se están llevando a cabo en la zona oeste de Ponce con permiso de uso o de construcción al igual que las industrias reguladas.

**Estrategia:**

- a. Establecer un archivo electrónico en el cual se encuentren todas las industrias ya sea de proceso o de no proceso que en sus actividades liberen material particulado al ambiente.
- b. Complementar el archivo de las industrias con todos los permisos de construcción emitidos y otros permisos que envuelvan la liberación de material particulado al ambiente.
- c. Que el programa del archivo digital provea para incluir las violaciones y estatus de los casos con relación a la Agencia.

**Actividades:**

La JCA deberá solicitar fondos para la creación de un sistema de archivo electrónico similar al que posee el Sistema Integrado de Permisos del Gobierno de Puerto Rico.

1. Establecer acuerdos con el municipio de Ponce para obtener la información correspondiente a los permisos otorgados que conllevan la liberación de material particulado al aire.

- i. El Municipio le someterá a la JCA cada mes la información correspondiente a permisos de construcción y uso emitidos.

**Responsable:**

La JCA sería la responsable de hacer los trámites y acercamientos para que se cumpla con el objetivo.

**Costo aproximado:**

El costo va a depender de la capacidad de la Oficina de Sistemas de Información de la JCA para desarrollar el Programa. De no poder la Oficina el costo de desarrollarlo por una compañía privada debe fluctuar de 10 mil a 30 mil dólares dependiendo la cantidad de campos en el programa y las licencias.

**Periodo de implantar la estrategia:**

Seis meses

**Resultado esperado:**

Se espera que con esta medida la JCA cuente con una base de datos de generadores de material particulado completa. La misma le facilitaría la tarea de fiscalización.

**Situación encontrada:**

La zona oeste del municipio de Ponce no tiene un sistema de monitoreo de material particulado efectivo.

**Objetivo 3:**

Establecer un sistema de monitoreo efectivo para material particulado que sea representativo de la zona y alerte al público sobre las condiciones del aire en la zona.

**Estrategia:**

- a. Establecer una estación de monitoreo continuo de PM<sub>2.5</sub> en el lugar donde se encuentran las estaciones 56PM<sub>10</sub> y 56PM<sub>2.5</sub> que informe Índice de Calidad del Aire.
- b. Establecer una estación de monitoreo continuo de PM<sub>10-2.5</sub> viento abajo en relación con las principales fuentes de emisión de material particulado. Esta estación sería orientada a la fuente para determinar la concentración más alta.
- c. Como apoyo al monitoreo continuo establecer dos estaciones de PM<sub>10</sub> manuales con el propósito que se puedan comparar sus valores a los NAAQS.
- d. Realizar análisis de composición química a los filtros de las estaciones existentes y las que se instalarían.

**Actividades:**

1. Preparar un modelaje matemático para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la zona como una de las herramientas para la ubicación de las estaciones.
2. Visitar los posibles lugares de ubicación según el modelaje.



3. Realizar reuniones con las comunidades afectadas y exponer las actividades que se están realizando para velar por el aire que respiran.
4. Solicitar los permisos correspondientes para la ubicación y operación de las estaciones.
5. Instalar las estaciones y comenzar su operación.
6. De la JCA no tener los equipos necesarios, coordinará con el Municipio Autónomo de Ponce para posibilidad de que éste costee parte de los equipos.
7. El Laboratorio Ambiental de la JCA realizará análisis químicos para determinar la composición del material particulado en las muestras de PM10 y PM2.5.

**Responsable:**

La JCA sería la responsable de establecer las estaciones, hacer los análisis y reportar los resultados.

**Costo aproximado:**

El costo de cada equipo de monitoreo continuo de PM10-2.5 y PM2.5 fluctúa desde \$18,000 hasta \$47,000 dólares dependiendo la marca y la configuración. En relación con los equipos manuales su valor es de aproximadamente \$3,500 a \$17,000 dependiendo la marca y la configuración. El costo de instalación, operación y mantenimiento lo realizaría la JCA con su personal y equipos de referencia.

**Periodo de Implantación:**

Un año

**Resultado esperado:**

Establecer un sistema de monitoreo efectivo para material particulado que sea representativo de la zona y alerte al público sobre las condiciones del aire en el lugar. Al mismo tiempo le brindaría herramientas a la JCA para conocer las condiciones de la calidad del aire en la zona y poder tomar cualquier tipo de acción necesaria de ocurrir alguna violación.

## LITERATURA CITADA

- Abbey, D.E., Hwang, B.L., Burchette, R.J., Vancuren, T., & Mills, P.K. (1995). Estimated long-term ambient concentrations of PM-10 and development of respiratory symptoms in a nonsmoking population. *Archives of Environmental Health*, 50, 139-152.
- Abu-Allaban, M., Hamasha, S., & Gertler, A. (2006). Road dust resuspension in the vicinity of limestone quarries in Jordan. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 56(10), 1440-1444.
- Acosta, Z., Suarez, R., Torres, E., Torres, Y. M., Molinelli, L., Torres, F.J., Olivera, L.J., Medina, N.A.,...Martines, N. (2007). Prevalencia de enfermedades respiratorias en las urbanizaciones de Morell Campos, Las Delicias y Villa del Carmen en el municipio de Ponce, Puerto Rico. San Juan, P.R.:U.P.R., R.C.M., Escuela Graduada de Salud Pública, Departamento de Bioestadística y Epidemiología.
- Agargwal, S.K. (2009). *Air Pollution*. New Delhi: APH.
- Ahrens, C. D. (2007). *Meteorology today an introduction to weather, climate, and the environment* (Octava edición). California: Brooks/Cole.
- Allen, S. (1996, mayo 9). More dying of dirty air than in cars. *Boston Globe*, pp. 14.
- Alshuwaikhat, H.M. (2005). Strategic environmental assessment failures can help solve environmental impact assessment failures in developing countries. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 307-317.
- Bascom, R. (1996). Health effects of outdoor air pollution. Committee of Environmental and Occupational Health Assembly of American Thoracic Society. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 153, 3-50.
- Bell, M.L. & Samet, J.M. (2010). Air Pollution. In Howard Frumkin (Ed.), *Environmental Health from Global to Local Second Edition* (p. 388). California, SF: John Wiley & Sons, Inc.
- Bluvshstein, N., Mahrer, Y., Sandler, A., & Rytwo, G. (2011). Evaluating the impact of a limestone quarry on suspended and accumulated dust. *Atmospheric Environment*, 45(9), 1732-1739. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.12.055
- Brizio, E., Genon, G., & Borsarelli, S. (2007). PM Emissions in a urban context. *American Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 166-174.

- California Environmental Protection Agency, Air Resources Board. (2009). Ambient Air Quality Standards (AAQS) for Particulate Matter. Recuperado de <http://www.epa.gov/ttn/oarg/naqsfin>
- Caquías, S. (2006, marzo 5). Piden vecinos de Cemex más control al polvo. *El Nuevo Día Electrónico*. <http://www.endi.com/2006/03/06/pueblos/378410.asp?category=Pueblos&title=Piden+vecinos+de+Cemex+mas.../0>
- Chelani, A. B., & Devotta, S. (2006). Nonlinear analysis and prediction of coarse particulate matter concentration in ambient air. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(1), 78-84.
- Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, (2010). Tránsito Promedio Anual Diario 2000-2009. Recuperado de [http://www.dtop.gov.pr/carretera/det\\_content.asp?cn\\_id=227](http://www.dtop.gov.pr/carretera/det_content.asp?cn_id=227)
- Díaz Pontón, J. A. (2008). *Estudio sobre la caracterización del material particulado en el Bo. Amelia, Guaynabo*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Dockery, D.W., Speizer, F.E., Stram, D.O., Ware, J.H., Spengler, J.D., & Ferris, B.G. Jr. (1989). Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *The American review of respiratory disease*, 139, 587-594.
- Dockery, D.W. (2001). Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 109, 483-486.
- Downs, S., Schindler, C., Liu, L., Keidel, D., Bayer-Oglesby, L., Brutsche, M., Gerbase, M., Séller, R.,... Ackermann-Liebrich, U. (2007). Reduced exposure to PM10 and attenuated age-related decline in lung function. *The New England Journal Of Medicine*, 357(23), 2338-2347.
- Fasulo, M. & Walker, P. (2007). *Meteorologist careers in the environment* (Third ed.) New York, NY: McGraw-Hill.
- Fiddler Gonzáles & Rodríguez (1996). Puerto Rico environmental law handbook (Segunda edición). Maryland: Government Institutes, Inc.
- Gielen, M.H., Van Der Zee, S.C., Van Wijnen, J.H., Van Steen, C.J., & Brunekreef, B. (1997). Acute effects of summer air pollution on respiratory health of asthmatic children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 155, 2105-2108.

- Gietl, J. K. & Klemm, O. (2009). Analisis of traffic and meteorology on airborne particulate matter in Münster, Northwest Germany. *Air and Waste Management Association*, 59, 809-818. DOI:10.3155/1047-3289.59.7.809.
- Godish, T. (1997). *Air Quality* (3 edición). Florida: CRC Lewis Publishers.
- Gong, H. Jr., Sioutas, C., & Linn, W.S. (2003). Controlled exposures of healthy and asthmatic volunteers to concentrated ambient particles in metropolitan Los Angeles. *Research Report/ Health Effects Institute 118*,1-36.
- Gordian, M.E., Özkaynak, H., Xue, J., Morris, S.S., & Spengler, J.D. (1996). Particulate air pollution and respiratory disease in Anchorage, Alaska. *Environmental Health Perspectives*, 104, 290-297.
- Goudie, AS & Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth Science Reviews*, 56, 179-204.
- Griffin, D., Kellogg, C.A., Garrison, V.A. & Shinn, E.A. (2002): The global transport of dust. *American Scientist*, 90, 228-235.
- Hernández García, José M. (2008). *Plan de manejo de riesgo para explosivos del Puerto de las Américas de Ponce*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Hernández Miranda, Carlos. (2009). *Evaluación de la reducción de materia particulada (PM) en una cementera y la adaptación al plan de comunicación de riesgo*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Ibald-Mulli, A., Stieber, J., Wichmann, H.E., Koenig, W., & Peters, A. (2001). Effects of air pollution on blood pressure: a population based approach. *American Journal of Public Health*, 91, 571-577.
- Jedrychowski, W., Flak, E., & Mroz, E. (1999). The adverse effect of low levels of ambient air pollutants on lung function growth in preadolescent children. *Environmental Health Perspectives*, 107(8), 669-674.
- Jung I., Kumar S. & Kuruvilla, J. (2002). *Impact of the meteorology on the fine particulate matter distribution in central and southeastern Ohio*. In Preprints of the American Meteorological Society 12th Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA Norfolk, VA; American Meteorological Society: Boston, MA, 2002.
- Junta de Calidad Ambiental. (1995). *Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica*. Recuperado de la Biblioteca de la Junta de Calidad Ambiental, San Juan Puerto Rico.

- Junta de Calidad Ambiental. (1997). *Índice Ambiental. Proyecto para la divulgación de la calidad del aire*. Recuperado de la Biblioteca de la Junta de Calidad Ambiental, San Juan Puerto Rico.
- Junta de Calidad Ambiental. (2004). Ley Sobre Política Pública Ambiental del 22 de septiembre de 2004. 12LPRA sec. 1131<sup>a</sup>.
- Junta de Calidad Ambiental. (2005). *Informe Ambiental, Recurso Aire*. Recuperado de la Biblioteca de la Junta de Calidad Ambiental, San Juan Puerto Rico.
- Junta de Calidad Ambiental. (2008a). Informe Ambiental, Recurso Aire. Recuperado de la Biblioteca de la Junta de Calidad Ambiental, San Juan Puerto Rico.
- Junta de Calidad Ambiental. (2008b). TV Tabla Comparativa Emisiones Actuales y Potenciales (tons/yr) 1999-2008. División de Validación y Manejo de Datos Junta de Calidad Ambiental, San Juan Puerto Rico.
- Keller, E.A. (2000). *Environmental geology* (Octava edición). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Korenstein, S., & Piazza, B. (2002). An exposure assessment of PM<sub>10</sub> from a major highway interchange: Are children in nearby schools at risk? (Cover story). *Journal of Environmental Health*, 65(2), 9.
- Li, X.Y., Gilmour, P.S., Donaldson, K., & MacMee, W. (1996). Free radical activity and pro-inflammatory effects of particulate air pollution (PM<sup>sub 10</sup>) in vivo and in vitro. *Thorax* 51, 1216-1222.
- Linn, W.S., Gong, H. Jr., Clark, K.W., & Anderson, K.R. (1999). Day-to-day particulate exposures and health changes in Los Angeles area residents with severe lung disease. *Journal of Air Waste Management Association*, 49, 108-115.
- Liu, B. & Xu, E. (1976). Physical and economic damage functions for air pollutants by receptors. *USEPA/600/6-76-011*, 1976.
- Loyo-Berrios, N., Irizarry, R., Hennessey, J., Tao, X., & Matanoski, G. (2007). Air pollution sources and childhood asthma attacks in Cataño, Puerto Rico. *American Journal of Epidemiology*, 165(8), 927-935.
- Mar, T.F., Koenig, Q., Sullivan, J., Kaufman, J., Trenga, C.A., & Siahpush, S.H. (2005). An analysis of the association between fine particles and blood pressure, heart rate and pulse oximetry in elderly subjects. *Epidemiology*, 16, 681-686.
- Martet, M. M., Peuch, V. H., Laurent, B. B., Marticorena, B. B., & Bergametti, G. G. (2009). Evaluation of long-range transport and deposition of desert dust with the

- CTM MOCAGE. *Tellus: Series B*, 61(2), 449-463. doi:10.1111/j.1600-0889.2008.00413.x
- Martineau, R. J.J. & Novello, D.P. (2004). *The clean air act handbook* (Segunda edición).Chicago, Illinois:ABA Publishing.
- McKinney, M.L., & Schoch, R.M. (1998). *Environmental science: systems and solutions* (web enhanced edition). Sudbury, MA: Jones & Bartlett Publishers.
- McMurry, P., Shepherd, M. & Vicker, J. (2004). *Particulate matter science for policy makers: A NARSTO ASSESSMENT*. New York, N.Y.:Cambridge University Press.
- Mercedes, R., Schwartz, J., & Zanobetti, A. (2006). The effect of ozone and PM<sub>10</sub> on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: A National Multicity Study. *American Journal of Epidemiology*, 163(6), 579-588.
- Mogireddy, K. K., Devabhaktuni, V. V., Kumar, A. A., Aggarwal, P. P., & Bhattacharya, P. P. (2011). A new approach to simulate characterization of particulate matter employing support vector machines. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2/3), 1254-1262. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.11.129.
- Moore, G. (2000). *Environmental compliance: a web-enhanced resource*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Negociado del Censo Federal (2000). *Población Censo 2000*. Recuperado de la Oficina del Censo de la Junta de Planificación. Puerto Rico.
- Pénard-Morand, C., Raheison, C., Charpin, D., Kopferschmitt, C., Lavaud, F., Caillaud, D., & Annesi-Maesano, I. (2010). Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. *The European Respiratory Journal: Official Journal Of The European Society For Clinical Respiratory Physiology*, 36(1), 33-40.
- Pekkanen, J., Timonen, K.L., Ruuskanen, J., Reponen, A., & Mirme, A. (1997). Effects of ultrafine and fine particles in urban air on peak expiratory flow among children with asthmatic symptoms. *Environmental Research* 74, 24-33.
- Peters, A., Wichmann, H.E., Tuch, T., Heinrich, J., & Heyder J. (1997). Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 155, 1376-1383.
- Pope, C., Ezzati, M., & Dockery, D. (2009). Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *The New England Journal Of Medicine*, 360(4), 376-386.

- Porteus, A. (2008). Dictionary of environmental science and technology. Fourth Edition. John Wiley & Sons Ltd.
- Reyes, B. (2008). The Uninvited Guest [Greenversations, Oficial blog of US EPA]. Recuperado el 4 de noviembre , 2010 de: <http://blog.epa.gov/blog/tag/sahara/>
- Rivera, P.J. (1999). *Pueblos de nuestro Puerto Rico* (Segunda edición). Colombia: Op Editorial Ltda.
- Roldán, L., & Morris, V.R. (2003). Shipboard measurements of Saharan dust near Puerto Rico during summer 2002. *5<sup>th</sup> Conference on Atmospheric Chemistry: Gases, Aerosols, and Clouds*, Department of Chemistry and Program in Atmospheric Sciences, Howard University, Washington, DC.
- Romieu, I., Meneses, F., Ruiz, S., Sienna, J.J., Huerta, J., White, M.C., & Etzel, R.A. (1996). Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 154, 300-307.
- Rulleau, S. & Cachier, H. (2001). Characterization of fresh particulate vehicular exhausts near a Paris high flow road. *Atmospheric Environment*, 35(2):453-468. doi: 10.1016/S1352-2310(00)00110-2
- Salvi, S., Blomberg, A., Rudell, B., Kelly, F., Sandstrom, T., Holgate, S.T., & Frew, A. (1999). Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 159, 702-709.
- Santacatalina, M. M., Reche, C. C., Minguillón, M. C., Escrig, A. A., Sanfelix, V. V., Carratalá, A. A., Nicolás, J.F., Yubero, E., ... Querol, X. (2010). Impact of fugitive emissions in ambient PM levels and composition: A case study in Southeast Spain. *Science of the Total Environment*, 408(21), 4999-5009. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.040
- Sgambato, A., Iavicoli, I., Goracci, M., Corbi, M., Boninsegna, A., Pietroiusti, A., Cittadini, A., & Bergamaschi, A. (2010). Evaluation of in vitro toxic effects of cement dusts: A preliminary study. *Toxicology & Industrial Health*, 26(5), 309-317. doi:10.1177/0748233710365696
- Seguinot-Medina, S., & Rivera-Rentas, A. (2006). Risk assessment and community participation model for environmental asthma management in an elementary public school: a case study in Puerto Rico. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 3(1), 76-85.
- Shwartz, J., Dockery, D.W., Neas, L.M., Wypij, D., Ware, J., Spengler, J.D., Koutrakis, P., Speizer, F.E., & Ferris, B.G. (1994). Acute effects of summer air pollution on



- respiratory symptom reporting in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 150, 1234-42.
- Talley, W.K., (2009). Chapter 12 Air pollution. *Port Economics*. (pp.164-168). New York, NY: Routledge.
- Tang, E. A. (2005). Case-crossover studies of particulate air pollution and risk of death from asthma and from chronic obstructive pulmonary disease in the United States (Tesis de Ph.D., *The Johns Hopkins University*).
- Tiwary, A. & Colls, J. (2010). Chapter 2 air pollutants : particles. *Air Pollution measurement, modeling and mitigation Third Edition*. (p.54). New York, NY: Routledge.
- United States Environmental Protection Agency. (1990). Clean Air Act 42U.S.C.A.§§7401.
- United States Environmental Protection Agency. (2004). Air Quality Criteria for Particulate Matter. EPA 6DO/P/-99/002a.bF. Research Triangle Park, NC:U.S. *Environmental Protection Agency*.
- United States Environmental Protection Agency. (2006). Monitor Values Report – Criteria Air Pollutants. Air Data. *Environmental Protection Agency*.
- United States Environmental Protection Agency. (2007). Monitor Values Report – Criteria Air Pollutants. Air Data. *Environmental Protection Agency*.
- United States Environmental Protection Agency. (2008). Monitor Values Report – Criteria Air Pollutants. Air Data. *Environmental Protection Agency*.
- United States Environmental Protection Agency. (2009). *Consultation on monitoring issues related to the NAAQS for particulate matter*. Retrieved from [http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/C446E60A1156E2DF8525757100780CF4/\\$File/EPA-CASAC-09-006-unsigned.pdf](http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/C446E60A1156E2DF8525757100780CF4/$File/EPA-CASAC-09-006-unsigned.pdf)
- United States Environmental Protection Agency. (2011a). Particulate Matter. *Environmental Protection Agency*. Retrieved from <http://www.epa.gov/air/particlepollution>
- United States Environmental Protection Agency. (2011b). Air & Radiation Particulate Matter. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). *Environmental Protection Agency*. Retrieved from <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- Vidal, M. (1986). *Ponce: Notas para su historia* (Segunda edición). San Juan.

World Health Organization. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización Mundial 2005*. Recuperado de [http://www.who.int/phe/health\\_topics/AQG\\_spanish.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/AQG_spanish.pdf)

World Health Organization. (2008). Air Quality and Health (Fact sheet N°313). Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>

Yifang, Z., Kuhn, T., Mayo, P., & Hinds, W. C. (2006). Comparison of daytime and nighttime concentration profiles and size distributions of ultra fine particles near a major highway. *Environmental Science & Technology*, 40(8), 2531-2536.

## **TABLAS**

Tabla 1.

*Concentraciones de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2006).*

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	0	0	0	0	0	32	47	0	0	0	0	23
2	0	0	0	18	15	0	0	0	65	35	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0
4	0	17	0	0	0	31	54	0	0	0	31	27
5	42	0	0	29	16	0	0	0	94	27	0	0
6	0	0	31	0	0	0	0	26	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	<b>104</b>	0	0	0	0	22	32
8	0	0	0	34	29	0	0	0	100	44	0	0
9	0	0	32	0	0	0	0	49	0	0	0	0
10	0	44	0	0	0	<b>81</b>	42	0	0	0	76	41
11	27	0	0	25	26	0	0	0	58	21	0	0
12	0	0	48	0	0	0	0	81	0	0	0	0
13	0	28	0	0	0	60	38	0	0	0	30	36
14	0	0	0	35	24	0	0	0	63	57	0	0
15	0	0	57	0	0	0	0	32	0	0	0	0
16	0	44	0	0	0	0	78	0	0	0	45	34
17	55	0	0	34	30	0	0	0	<b>108</b>	40	0	0
18	0	0	28	0	0	0	0	74	0	0	0	0
19	0	25	0	0	0	37	41	0	0	0	21	24
20	0	0	0	64	49	0	0	0	0	52	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0
22	0	35	0	0	0	55	29	0	0	0	27	36
23	23	0	0	25	42	0	0	0	57	39	0	0
24	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	55	0	0	0	0	42	0	0	0	0	21
26	0	0	0	42	32	0	0	0	40	31	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0
28	0	38	0	0	0	41	<b>89</b>	0	0	0	53	24
29	33	0	0	50	47	0	0	0	48	71	0	0
30	0	0	67	0	0	0	0	48	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	33
No.	5	8	7	10	10	8	10	9	9	10	8	11
Máx.	55	55	72	64	49	104	89	81	108	71	76	41
Promedio	36.0	35.8	47.9	35.6	31.0	55.1	52.5	46.2	70.3	41.7	38.1	30.1
Sin evento	36.0	35.8	47.9	35.6	31.0	42.7	48.4	46.2	65.6	41.7	38.1	30.1
% dif.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	4.1	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0
Promedio anual				43.4								
Promedio anual sin evento				41.6								

n=105

**Volcán Le Soufriere**

***Polvo Desierto del Sahara***

Tabla 2.

Concentraciones de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2007).

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	0	0	47	0	0	0	0	38	0	0	0	0
2	0	24	0	0	0	48	<b>78</b>	0	0	0	27	54
3	17	0	0	26	20	0	0	0	40	39	0	0
4	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	30	0	0	0	41	34	0	0	0	48	0
6	28	0	0	0	32	0	0	0	32	33	0	0
7	0	0	46	0	0	0	0	48	0	0	0	0
8	0	68	0	0	0	0	27	0	0	0	38	46
9	0	0	0	32	26	0	0	0	33	39	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0
11	0	45	0	0	0	23	43	0	0	0	25	15
12	38	0	0	23	0	0	0	0	51	59	0	0
13	0	0	31	0	0	0	0	28	0	0	0	0
14	0	30	0	0	0	46	36	0	0	0	60	20
15	0	0	0	26	68	0	0	0	27	43	0	0
16	0	0	29	0	0	0	0	32	0	0	0	0
17	0	41	0	0	0	44	37	0	0	0	57	23
18	0	0	0	45	<b>108</b>	0	0	0	33	28	0	0
19	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	42	0	0	0	31	0	0	0	0	23	42
21	18	0	0	22	31	0	0	0	0	34	0	0
22	0	0	29	0	0	0	0	28	0	0	0	0
23	0	42	0	0	0	75	48	0	0	0	55	28
24	80	0	0	35	30	0	0	0	71	41	0	0
25	0	0	29	0	0	0	0	41	0	0	0	0
26	0	47	0	0	0	0	73	0	0	0	30	23
27	34	0	0	30	33	0	0	0	37	6	0	0
28	0	0	19	0	0	0	0	63	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	48	28
30	49	0	0	28	20	0	0	0	34	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0
No.	7	9	9	9	9	8	8	9	9	9	10	9
Máx.	80	68	51	45	108	75	78	63	71	59	60	54
Promedio	37.7	41.0	33.8	29.7	40.9	43.0	47.0	38.3	39.8	35.8	41.1	31.0
Sin evento	37.7	41.0	33.8	29.7	32.5	43.0	37.3	38.3	39.8	35.8	41.1	31.0
Diferencia	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio anual				38.3								
Promedio anual sin evento				36.7								
n=105												

**Polvo Desierto del Sahara**

Tabla 3.

Concentraciones de material particulado( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2008).

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	18	0	0	0	0	20
4	29	0	30	0	0	0	0	50	0
5	0	0	0	0	0	19	15	0	0
6	0	42	0	19	39	0	0	0	0
7	40	0	28	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	19	0	29	0	0	0	0	23
10	20	0	26	0	0	0	0	35	0
11	0	0	0	0	0	35	64	0	0
12	0	43	0	31	35	0	0	0	0
13	36	0	28	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	33	0	0	0	0	0	0	56
16	50	0	38	0	0	0	0	65	0
17	0	0	0	0	0	50	47	0	0
18	0	20	0	23	21	0	0	0	0
19	18	0	30	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	28	0	0	0	0	0	0	5
22	23	0	17	0	0	0	0	64	0
23	0	0	0	0	0	44	46	0	0
24	0	36	0	48	24	0	0	0	0
25	42	0	21	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	22	0	0	0	0	0	0	0
28	38	0	29	0	0	0	0	58	0
29	0	0	0	0	0	47	34	0	0
30	0	0	0	44	53	0	0	0	0
31	0	0	39	0	0	0	0	0	0
No.	9	8	10	7	5	5	5	5	4
Máx.	50	43	39	48	53	50	64	65	56
Promedio	32.9	30.4	28.6	30.3	34.4	39.0	41.2	54.4	26.0
Sin evento	32.9	30.4	28.6	30.3	34.4	39.0	41.2	54.4	26.0
Diferencia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio anual				35.2					
Promedio anual sin evento				35.2					

n=58

Tabla 4.

*Total de precipitación anual y mensual Ponce Puerto Rico (2006-2008).*

Mes	2006	2007	2008
Ene.	1.29	0.7	0.8
Feb.	0.89	0.06	0.33
Mar.	6.56	1.71	0.19
Abr.	3.77	4.16	2.07
May.	3.68	2.28	2.41
Jun.	4.45	1.53	0.86
Jul.	4.42	1.74	0.55
Ago.	2.06	5.41	8.28
Sept.	2.15	4.46	23.42
Oct.	4.75	10.83	3.4
Nov.	2.08	1.96	1.13
Dic.	0.21	4.25	0.19
Total	36.31	39.09	43.63

Tabla 5.

*Promedio de velocidad y dirección del viento cada seis horas durante un día (24hrs) (2006-2008).*

Hora (0-24hrs)	Velocidad Promedio(mph)	Dirección
12:00am-6:00am	3.8	oeste
6:00am-12:00pm	10.1	sur-este, este, nor-este
12:00pm-6:00pm	14.0	sur-este
6:00pm-12:00am	6.3	nor-este

*Nota: Se determinó la dirección y velocidad del viento durante un día (24hrs) para cada uno de los años y aquí se presenta el promedio de los tres años (2006-2008)*



Tabla 6.  
*Querellas por mes y totales por material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).*

Mes	2006			2007			2008		
	Cemex	Otras	Total	Cemex	Otras	Total	Cemex	Otras	Total
enero	2	2	4	0	1	1	2	1	3
feb.	0	3	3	0	0	0	4	0	4
marzo	0	0	0	0	0	0	0	2	2
abr.	0	0	0	0	1	1	2	0	2
mayo	0	0	0	0	0	0	6	1	7
jun.	0	1	1	0	0	0	1	0	1
jul.	0	1	1	0	1	1	1	2	3
ago.	3	1	4	4	2	6	0	2	2
sept.	0	1	1	0	0	0	2	0	2
oct.	1	3	4	2	0	2	6	0	6
nov.	0	2	2	1	0	1	0	0	0
dic.	1	0	1	2	1	3	0	0	0
total	7	14	21	9	6	15	24	8	32

Tabla 7.

*Querellas por fuente de emisión de material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).*

Año	Construcción	Industrias	Vehículos	Sin punto*	Cemex	Total
2006	7	4	1	2	7	21
2007	2	2	1	1	9	15
2008	2	4	0	2	24	32
Total	11	10	2	5	40	68

\* No se pudo determinar el lugar de la emisión.

Tabla 8.

*Promedio de concentración de material particulado anual estación 56PM10 (2006-2008).*

Año	Evento	Sin evento
2006	43.4	41.6
2007	38.3	36.7
2008	35.2	35.2

Tabla 9.

*Comparación estaciones de material particulado 56PM10, 24PM10 y 7PM10 por promedio aritmético de concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) anual.*

Año	Estación		
	56PM10	24PM10	7PM10
2006	43.2	39.9	32.7
2007	38.2	38.5	30.3
2008	34.2	34.6	27.9
	r=	0.9461	1.0

Tabla 10.

*Emisiones actuales de material particulado PM10 industrias Titulo V Ponce Puerto Rico.  
El año 2007 no se pudo conseguir.*

Emisiones actuales de Material Particulado (PM10) (Toneladas/Año)			
Año	Cemex, Puerto Rico	BFI of Ponce, Inc.	Destilería Serrallés
2006	149.34	13.2	8.85
2007	--	--	--
2008	156.89	12.83	4.65

Tabla 11.

*Industrias en la zona de Ponce con liberación de material particulado PM10 al ambiente.*

Fuente de Emisión	Descripción	Emisiones máx. permitidas (PM10) (Toneladas/Año)
Cemex, Puerto Rico	Producción de Cemento y Cal	1,148
Cemex Concreto	Producción de Hormigón	9.507
Cemex Concreto (antes Hormigonera Mayaguezana)	Producción de Hormigón	0.85
Cantera Plant Site	Extracción de Material de Corteza Terrestre ("piedra caliza")	--
Cantera Angóla	Extracción de Material de la Corteza Terrestre ("piedra")	--
Cantera La Feliz	Extracción de Material de la Corteza Terrestre ("barro")	--
BFI of Ponce, Inc.	Sistema de Relleno Sanitario	16.975
Betterroads Asphalt Corp.	Asfaltera	verificar expediente
Salinas Asphalt	Asfaltera	verificar expediente
R&F Asphalt Unlimited, Inc.	Asfaltera	43.29
Robles Ready Mix	Hormigonera	8.392
Robles Agregates, Inc.	Procesamiento de Material de Corteza Terrestre	0.612
TR Concrete Inc.	Hormigonera	1.174
Cantera La Matilde Carr.	Extracción de Material de La Corteza Terrestre	--
South P.R. Concrete Works, Inc.	Producción de Bloques	1.464
Bloquera Real Anón	Producción de Bloques	1.67
Cantera Puerto Ven	Extracción de Material de La Corteza Terrestre	--
Cantera Borrow Pit (Cantera Serrallés)	Extracción de Material de La Corteza Terrestre	--
Cantera Martínó Carr.	Extracción & Procesamiento de Material de Corteza Terrestre	8.989
Cantera La Rita	Extracción & Procesamiento de Material de Corteza Terrestre	2.02

Tabla 12.

*Industrias identificadas en la zona de estudio como contribuyentes al material particulado.*

Fuente de Emisión Dirección	Descripción	Emisiones máx. permitidas (PM10) (Toneladas/Año)
Cemex, Puerto Rico	Producción de Cemento y Cal	1,148
Cemex Concreto	Producción de Hormigón	9.507
Cantera Plant Site	Extracción de Material de Corteza Terrestre ("piedra caliza")	--
Cantera Angóla	Extracción de Material de la Corteza Terrestre ("piedra")	--
Cantera La Feliz	Extracción de Material de la Corteza Terrestre ("barro")	--
BFI of Ponce, Inc.	Sistema de Relleno Sanitario	16.975
Cantera La Matilde	Extracción de Material de La Corteza Terrestre	--

Tabla 13.

*Cantidad de vehículos anuales que transitaron por las principales carreteras de la zona de estudio Ponce Puerto Rico según la Autoridad de Carreteras.*

Carretera	Total de vehículos	Año
123	21,700	2000
132	19,117	2009
500	29,409	2008



Tabla 14.

*Concentración de material particulado PM10-2.5 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2006.*

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	0	0	0	0	0	25.2	39.5	0	0	0	0	18
2	0	0	0	18	9.7	0	0	0	56.9	30.7	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0
4	0	12.9	0	0	0	24.3	46.5	0	0	0	25.7	22.7
5	35.7	0	0	29	10.6	0	0	0	83.3	21.4	0	0
6	0	0	24.1	0	0	0	0	21	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	104	0	0	0	0	18	24.2
8	0	0	0	34	19.1	0	0	0	89.8	36.4	0	0
9	0	0	25.6	0	0	0	0	39.5	0	0	0	0
10	0	35.8	0	0	0	69.3	35.2	0	0	0	69.7	33
11	23.2	0	0	25	26	0	0	0	49.4	15.5	0	0
12	0	0	42.7	0	0	0	0	68	0	0	0	0
13	0	24	0	0	0	51.7	33	0	0	0	25.8	31.6
14	0	0	0	29.8	24	0	0	0	53.1	52.7	0	0
15	0	0	49.8	0	0	0	0	22.7	0	0	0	0
16	0	44	0	0	0	0	66.5	0	0	0	37	34
17	48.8	0	0	34	23.6	0	0	0	94.5	34.6	0	0
18	0	0	22.5	0	0	0	0	64.4	0	0	0	0
19	0	19.5	0	0	0	30.2	35	0	0	0	15.4	20.2
20	0	0	0	54.9	39	0	0	0	0	46.5	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0
22	0	29.4	0	0	0	45.7	22.3	0	0	0	21.5	31.5
23	19.5	0	0	16.6	35	0	0	0	52.4	30.4	0	0
24	0	0	59.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	46.9	0	0	0	0	36	0	0	0	0	17.3
26	0	0	0	36.4	27.9	0	0	0	33.7	22.9	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	13.8	0	0	0	0
28	0	27.7	0	0	0	33.1	72.7	0	0	0	48.2	18.5
29	27.6	0	0	41.7	37	0	0	0	42.7	64.8	0	0
30	0	0	53	0	0	0	0	41.2	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	25.2
No.	5	8	7	10	10	8	10	9	9	10	8	11
Máx.	48.8	46.9	59.3	54.9	39	104	72.7	68	94.5	64.8	69.7	34
Promedio	31.0	30.0	39.6	31.9	25.2	47.9	45.2	39.8	61.8	35.6	32.7	25.1
Promedio Anual	39.2											
n=	105.0											

Tabla 15.

*Concentración de material particulado PM10-2.5 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2008.*

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	14.3	0	0	0	0	15.2
4	0	0	0	0	0	0	0	41.7	0
5	0	0	0	0	0	14.9	11.3	0	0
6	0	36.4	0	14.6	30.8	0	0	0	0
7	0	0	23	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	15.5	0	24.5	0	0	0	0	0
10	0	0	20.5	0	0	0	0	27.1	0
11	0	0	0	0	0	30.2	54.9	0	0
12	0	37.6	0	26.9	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	29.2	0	0	0	0	0	0	46
16	43.7	0	30	0	0	0	0	52.3	0
17	0	0	0	0	0	0	37.5	0	0
18	0	0	0	18.4	0	0	0	0	0
19	14.6	0	24.9	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
22	19	0	13.2	0	0	0	0	55.1	0
23	0	0	0	0	0	35.4	38.7	0	0
24	0	0	0	38	18.1	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	23	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	38.2	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No.	3	4	6	6	2	4	4	4	3
Máx.	43.7	37.6	30	38	30.8	38.2	54.9	55.1	46
Promedio	25.8	29.7	22.4	22.8	24.5	29.7	35.6	44.1	21.0
Promedio Anual	28.4								
N=36									

Tabla 16.

*Por ciento de PM2.5 en la concentración de material particulado PM10 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2006.*

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	0	0	0	0	0	21.3	16.0	0	0	0	0	21.7
2	0	0	0	0	35.3	0	0	0	12.5	12.3	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	24.1	0	0	0	21.6	13.9	0	0	0	17.1	15.9
5	15.0	0	0	0	33.8	0	0	0	11.4	20.7	0	0
6	0	0	22.3	0	0	0	0	19.2	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.2	24.4
8	0	0	0	0	34.1	0	0	0	10.2	17.3	0	0
9	0	0	20.0	0	0	0	0	19.4	0	0	0	0
10	0	18.6	0	0	0	14.4	16.2	0	0	0	8.3	19.5
11	14.1	0	0	0	0	0	0	0	14.8	26.2	0	0
12	0	0	11.0	0	0	0	0	16.0	0	0	0	0
13	0	14.3	0	0	0	13.8	13.2	0	0	0	14.0	12.2
14	0	0	0	14.9	0	0	0	0	15.7	7.5	0	0
15	0	0	12.6	0	0	0	0	29.1	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	14.7	0	0	0	17.8	0
17	11.3	0	0	0	21.3	0	0	0	12.5	13.5	0	0
18	0	0	19.6	0	0	0	0	13.0	0	0	0	0
19	0	22.0	0	0	0	18.4	14.6	0	0	0	26.7	15.8
20	0	0	0	14.2	20.4	0	0	0	0	10.6	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	16.0	0	0	0	16.9	23.1	0	0	0	20.4	12.5
23	15.2	0	0	33.6	16.7	0	0	0	8.1	22.1	0	0
24	0	0	17.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	14.7	0	0	0	0	14.3	0	0	0	0	17.6
26	0	0	0	13.3	12.8	0	0	0	15.8	26.1	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	23.3	0	0	0	0
28	0	27.1	0	0	0	19.3	18.3	0	0	0	9.1	22.9
29	16.4	0	0	16.6	21.3	0	0	0	11.0	8.7	0	0
30	0	0	20.9	0	0	0	0	14.2	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.6
No.	5	7	7	5	8	7	9	7	9	10	8	10
Promedio mensual	14.4	19.6	17.7	18.5	24.5	18.0	16.0	19.2	12.4	16.5	16.4	18.6
Promedio Anual	17.7											
n=	92.0											

Tabla 17.

*Por ciento de PM2.5 en la concentración de material particulado PM10 estaciones 56PM10 y 56PM2.5 Ponce Puerto Rico 2008.*

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	20.6	0	0	0	0	24.0
4	0	0	0	0	0	0	0	16.6	0
5	0	0	0	0	0	21.6	24.7	0	0
6	0	13.3	0	23.2	21.0	0	0	0	0
7	0	0	16.7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	18.4	0	15.5	0	0	0	0	0
10	0	0	19.6	0	0	0	0	22.6	0
11	0	0	0	0	0	13.7	14.2	0	0
12	0	12.6	0	13.2	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	11.5	0	0	0	0	0	0	17.9
16	12.6	0	28.6	0	0	0	0	19.5	0
17	0	0	0	0	0	0	20.2	0	0
18	0	0	0	20.0	0	0	0	0	0
19	18.9	0	13.4	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	64.0
22	17.4	0	12.7	0	0	0	0	13.9	0
23	0	0	0	0	0	19.5	15.9	0	0
24	0	0	0	20.8	24.6	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	28.6	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	18.7	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No.	3	4	6	6	2	4	4	4	3
Promedio mensual	16.3	14.0	19.9	18.9	22.8	18.4	18.7	18.2	35.3
Promedio Anual	20.3								
n=36									

Tabla 18.

*Comparación de la concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )PM10 con la de PM10-2.5 para los años 2006 y 2008.*

Mes	2006		2008	
	56PM10	56PM10-2.5	56PM10	56PM10-2.5
enero	36.0	31.0	32.9	25.8
febrero	35.8	30.0	30.4	29.7
marzo	47.9	39.6	28.6	22.4
abril	35.6	31.9	30.3	22.8
mayo	31.0	25.2	34.4	24.5
junio	55.1	47.9	39.0	29.7
julio	52.5	45.2	41.2	35.6
agosto	46.2	39.8	54.4	44.1
septiembre	70.3	61.8	26.0	21.0
octubre	41.7	35.6		
noviembre	38.1	32.7		
diciembre	30.1	25.1		
r=	0.9971		0.9419	
	n=24		n=18	

## **FIGURAS**

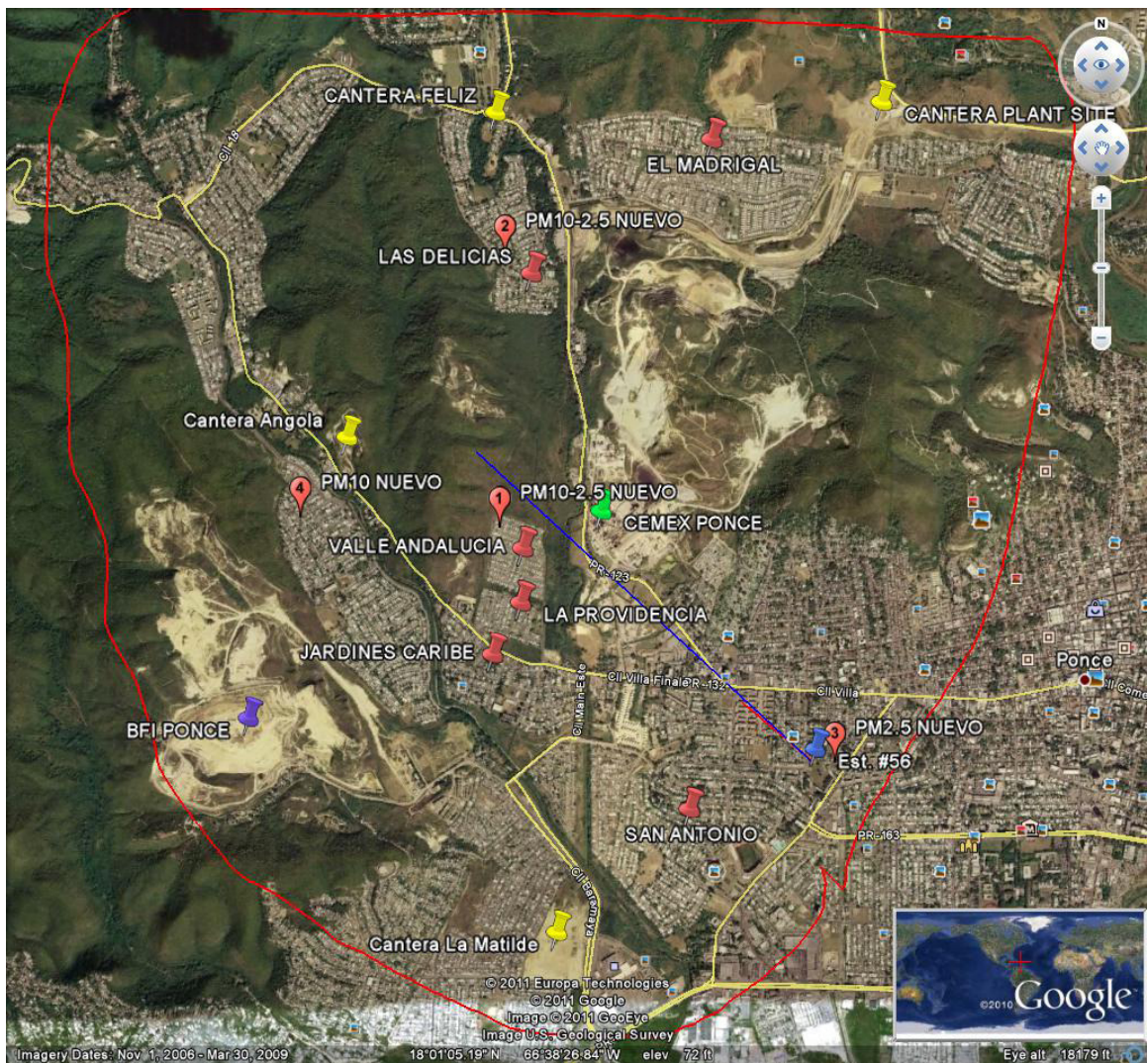


Figura 1. Mapa zona de estudio oeste de Ponce Puerto Rico.

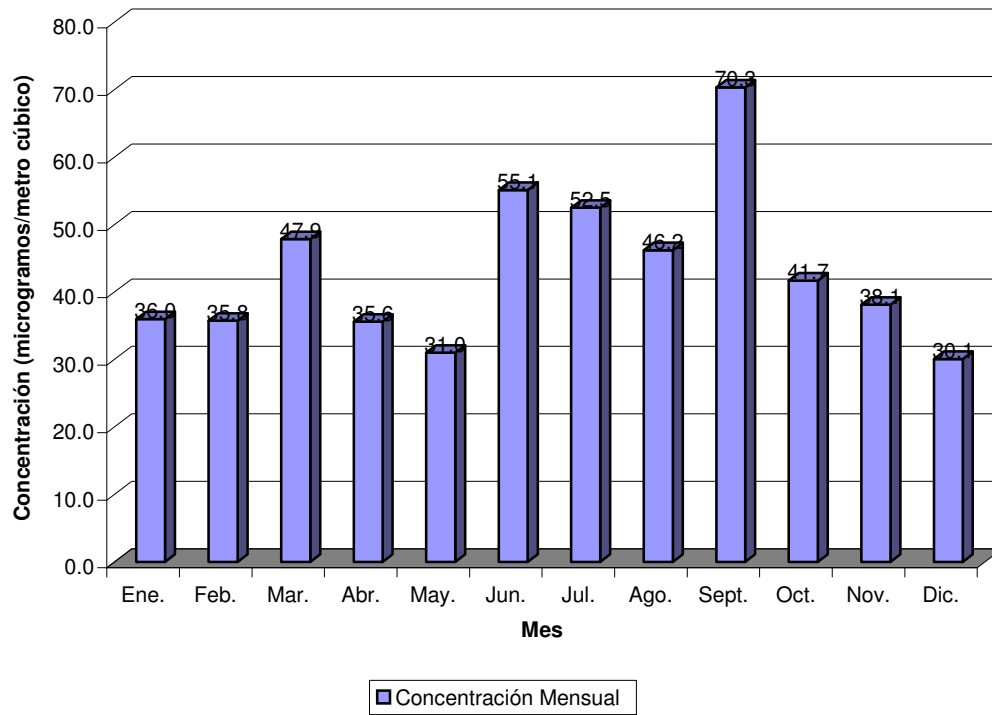


Figura 2. Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2006).



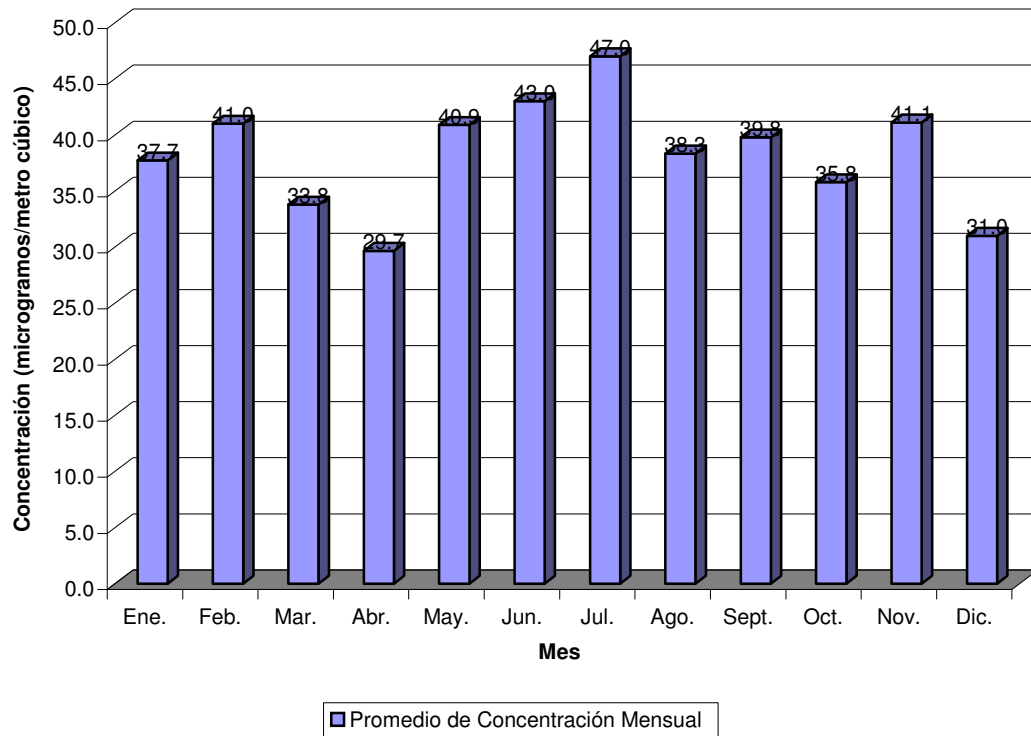


Figura 3. Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2007).

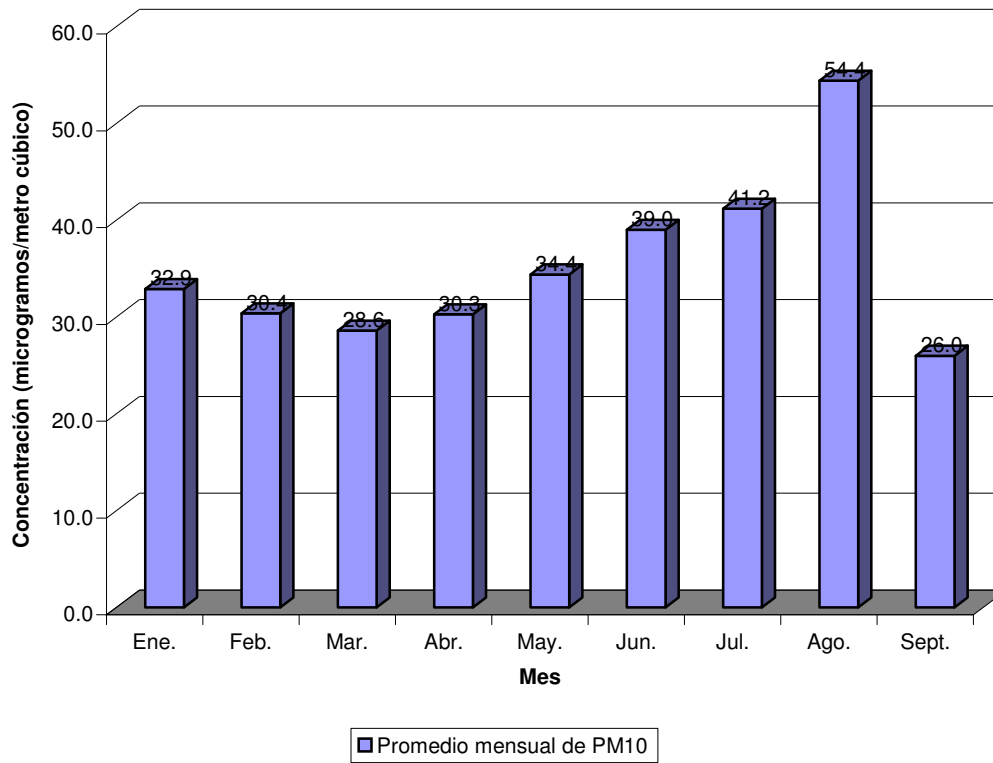
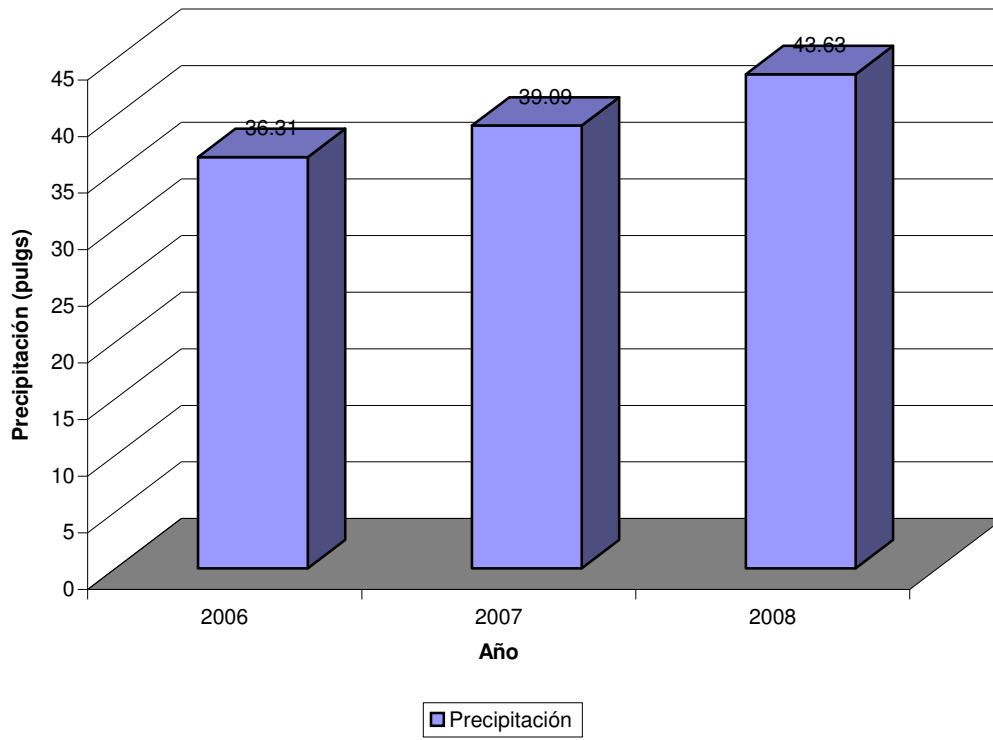


Figura 4. Promedio mensual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estación 56PM10 Ponce Puerto Rico (2008).



*Figura 5.* Precipitación anual Ponce Puerto Rico (2006-2008)

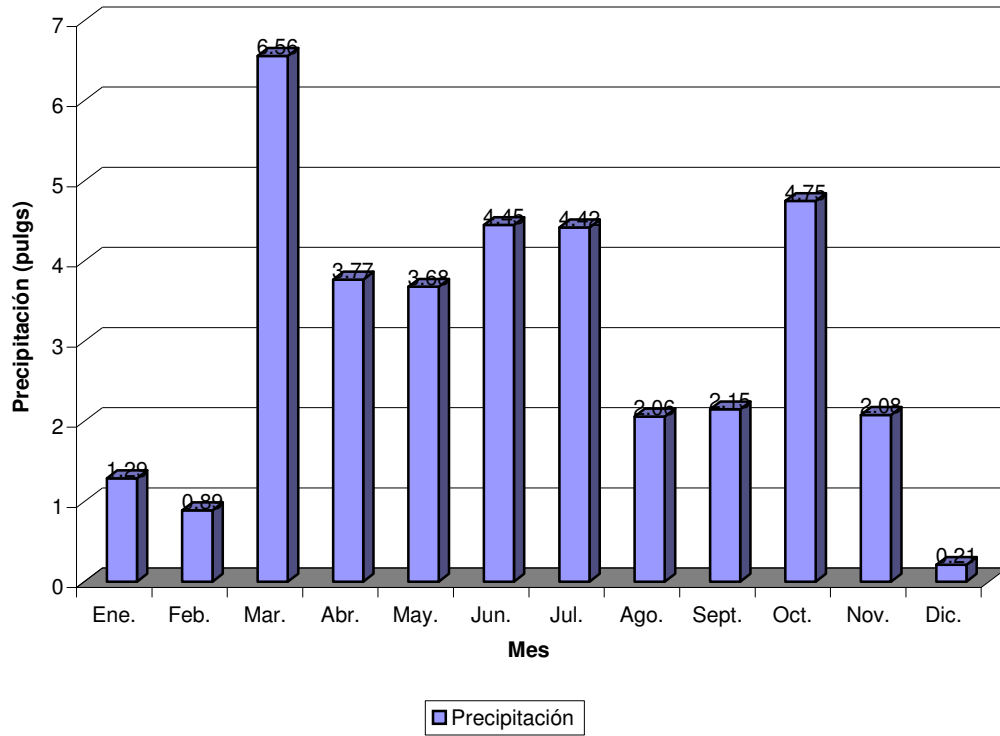


Figura 6. Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2006.

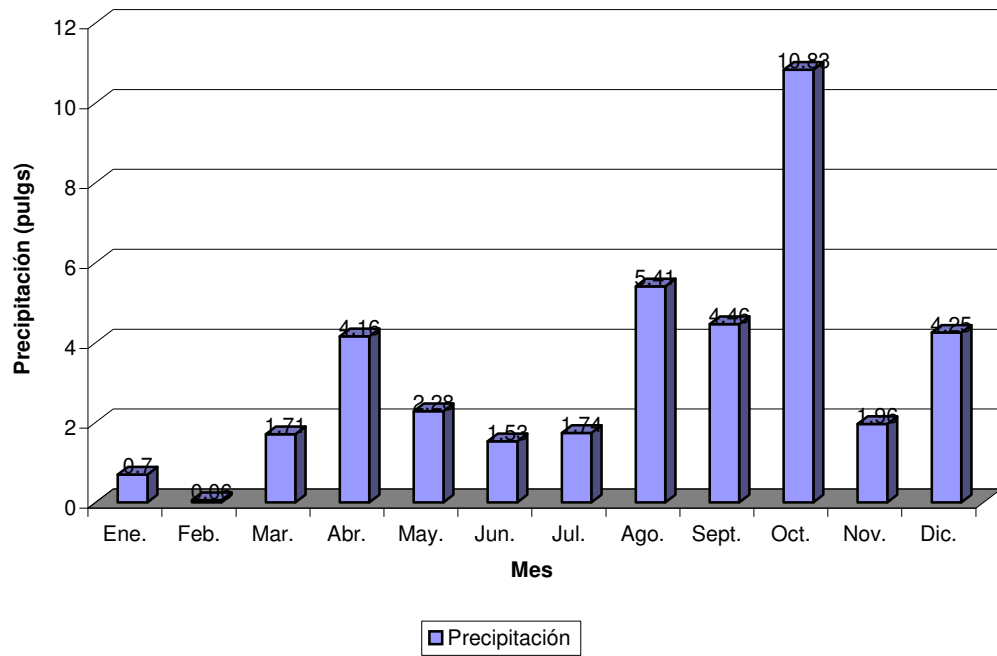


Figura 7. Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2007.

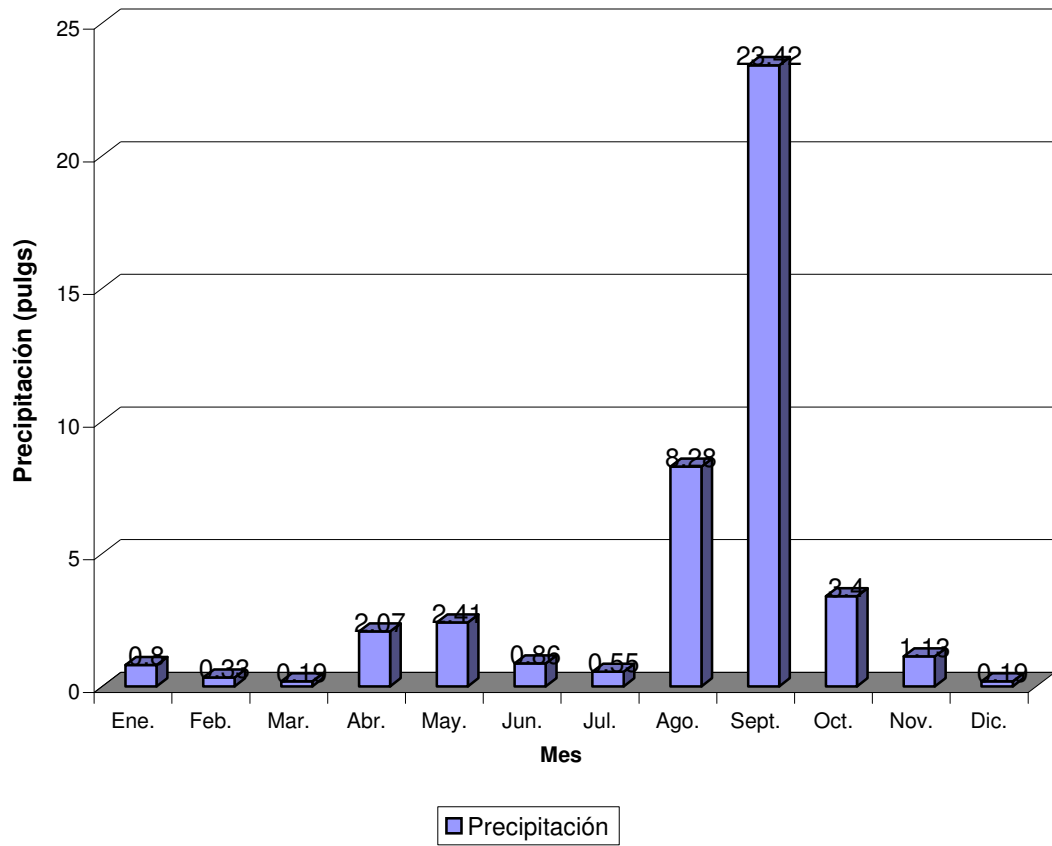


Figura 8. Precipitación mensual Ponce Puerto Rico para el año 2008.

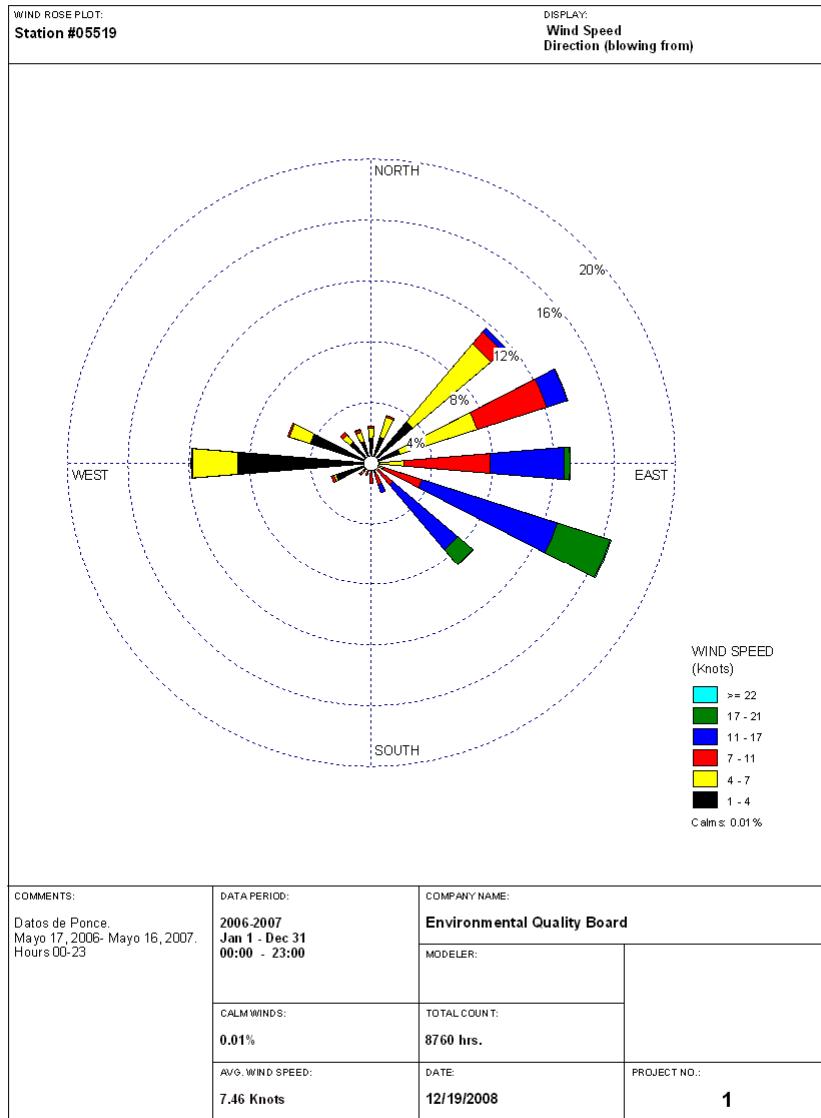


Figura 9. Rosa de los Vientos Ponce Puerto Rico 2006.

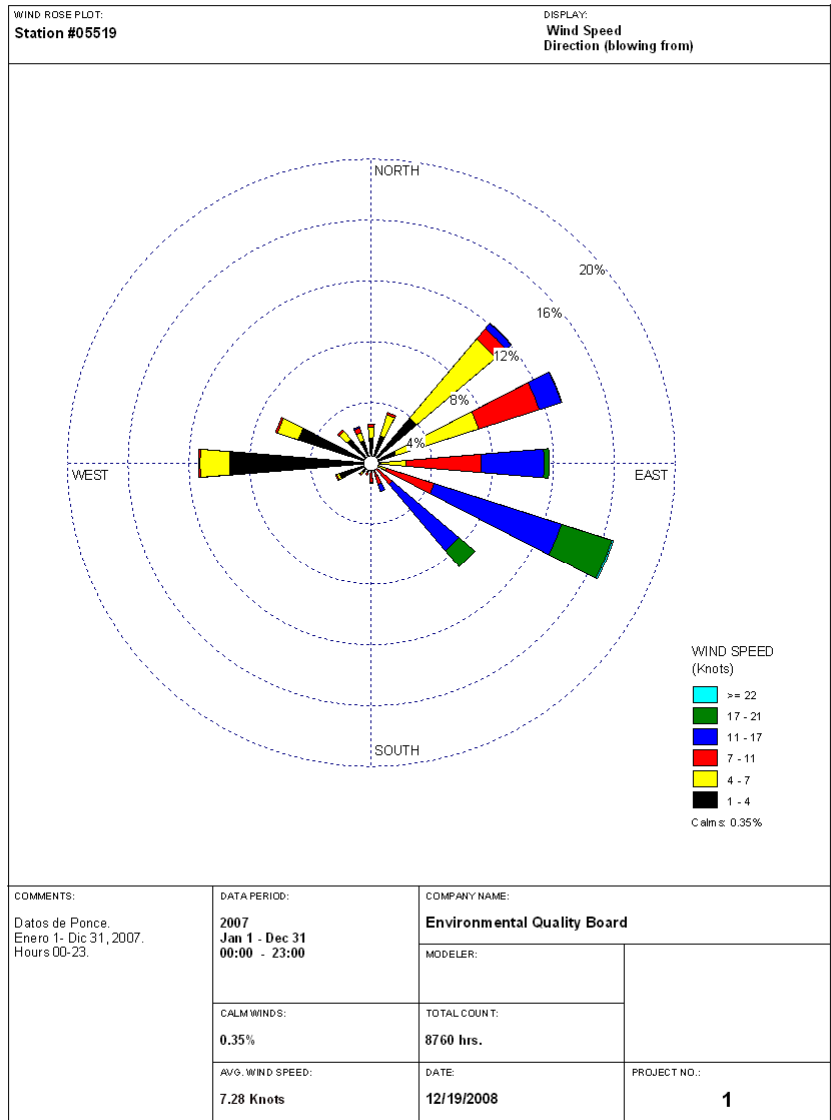


Figura 10. Rosa de los Vientos Ponce Puerto Rico 2007.



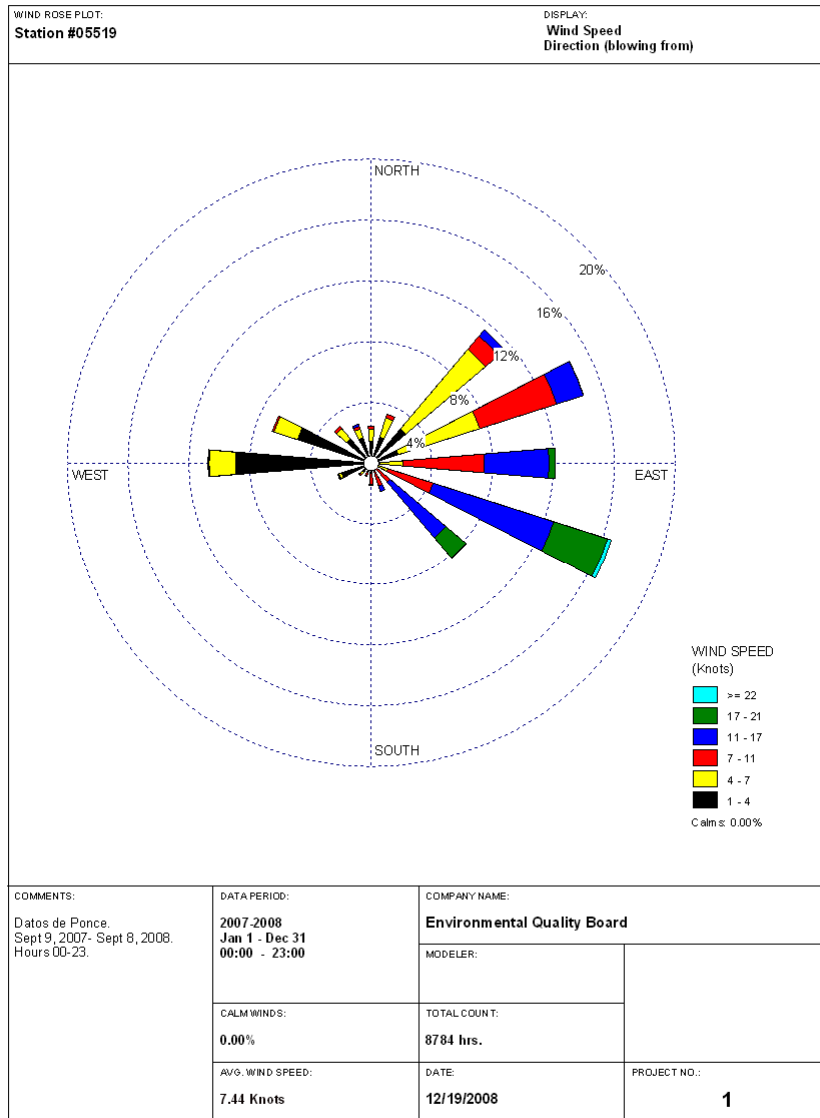
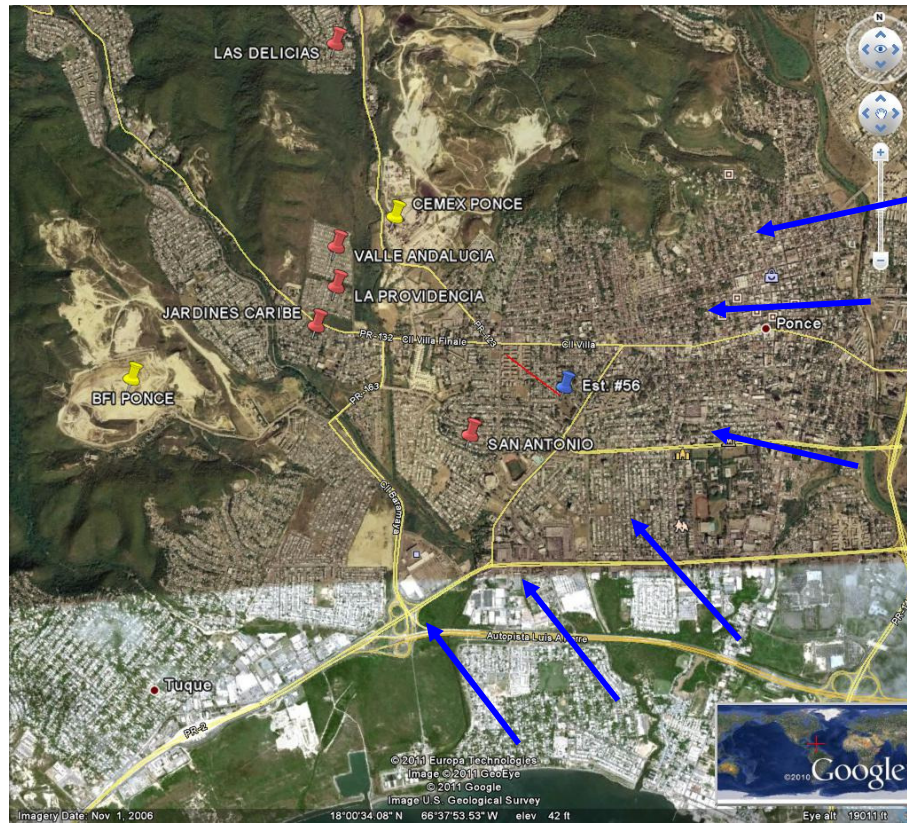
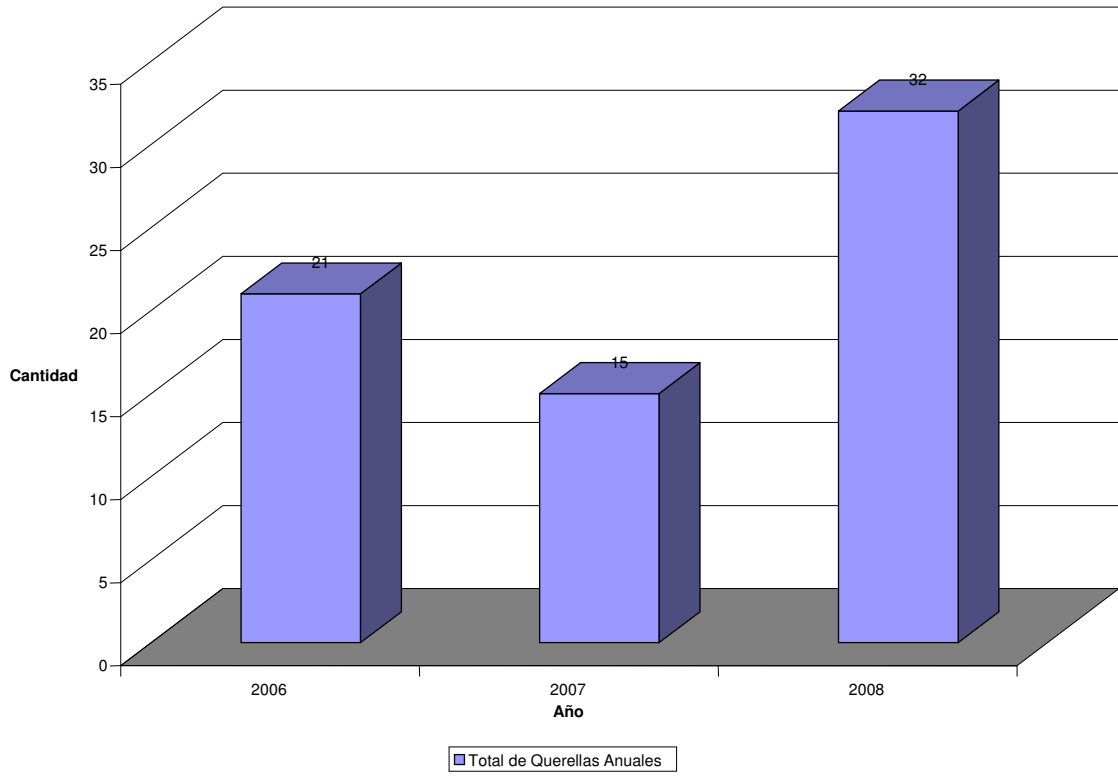


Figura 11. Rosa de los Vientos Ponce Puerto Rico 2008.



*Figura 12.* Mapa de la dirección del viento prevaleciente tomada de la estación meteorológica de la JCA ubicada en la estación 56 en Ponce Puerto Rico (2006-2008).



*Figura 13.* Querellas totales y anuales por material particulado Ponce Puerto Rico (2006-2008).

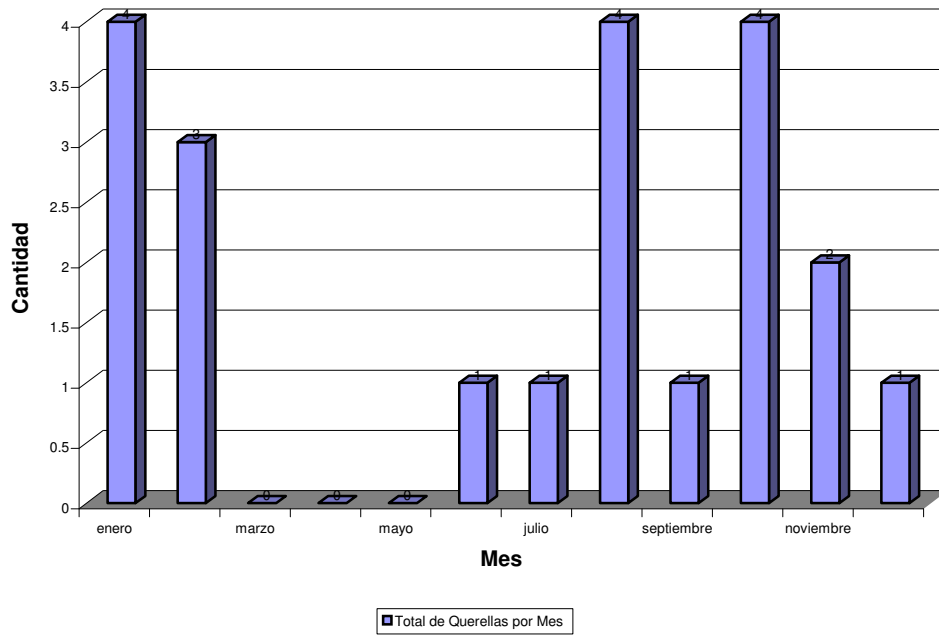
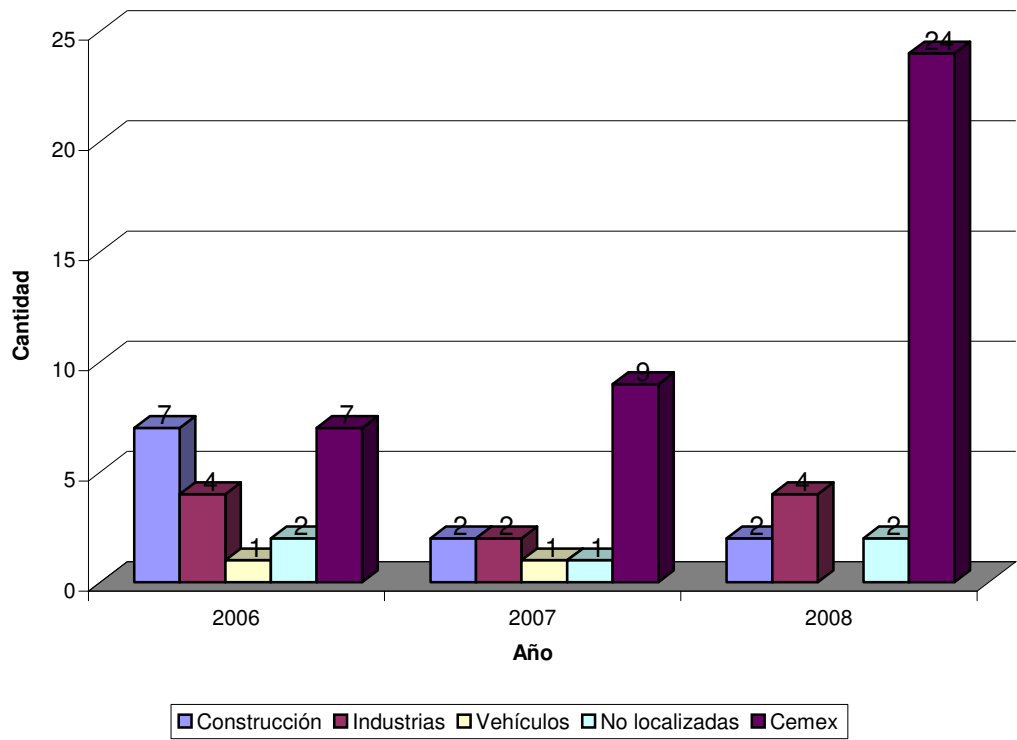


Figura 14. Querellas por mes por material particulado Ponce Puerto Rico para el año 2006.



*Figura 15.* Total de querellas por fuente de emisión por material particulado en Ponce Puerto Rico (2006-2008).

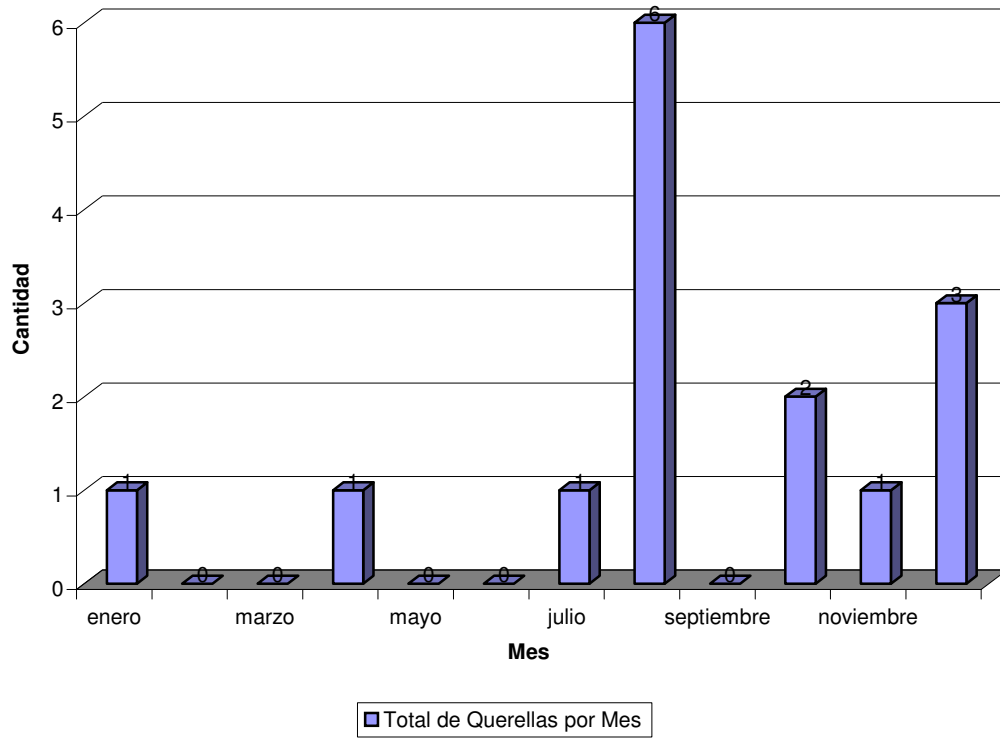


Figura 16. Total de querellas por mes por material particulado Ponce Puerto Rico (2007).

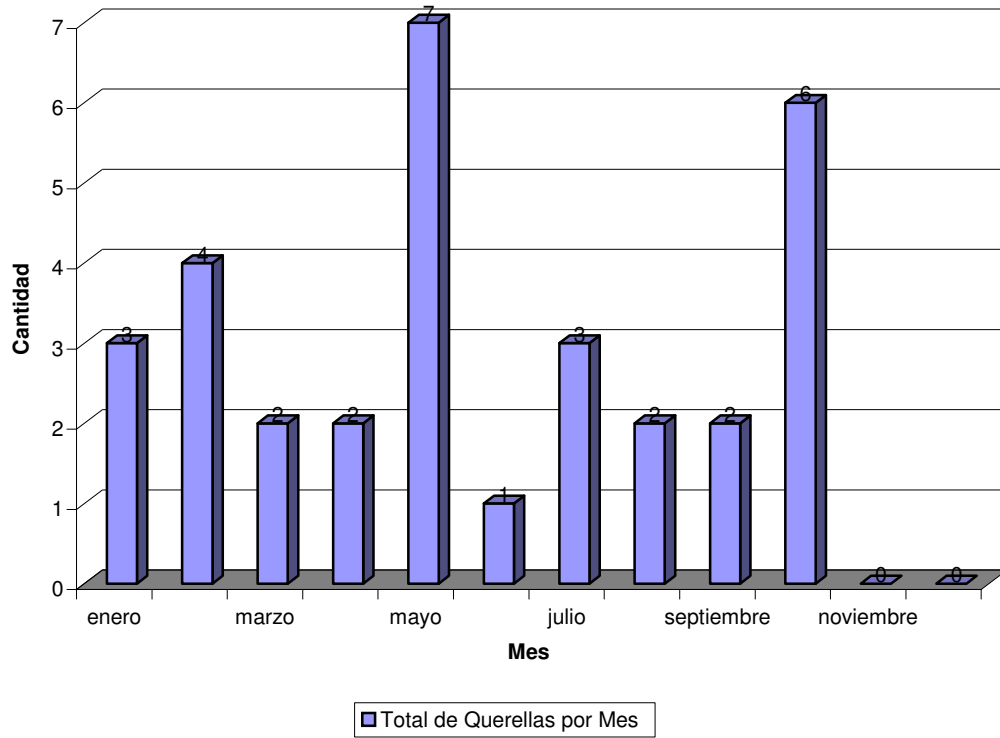
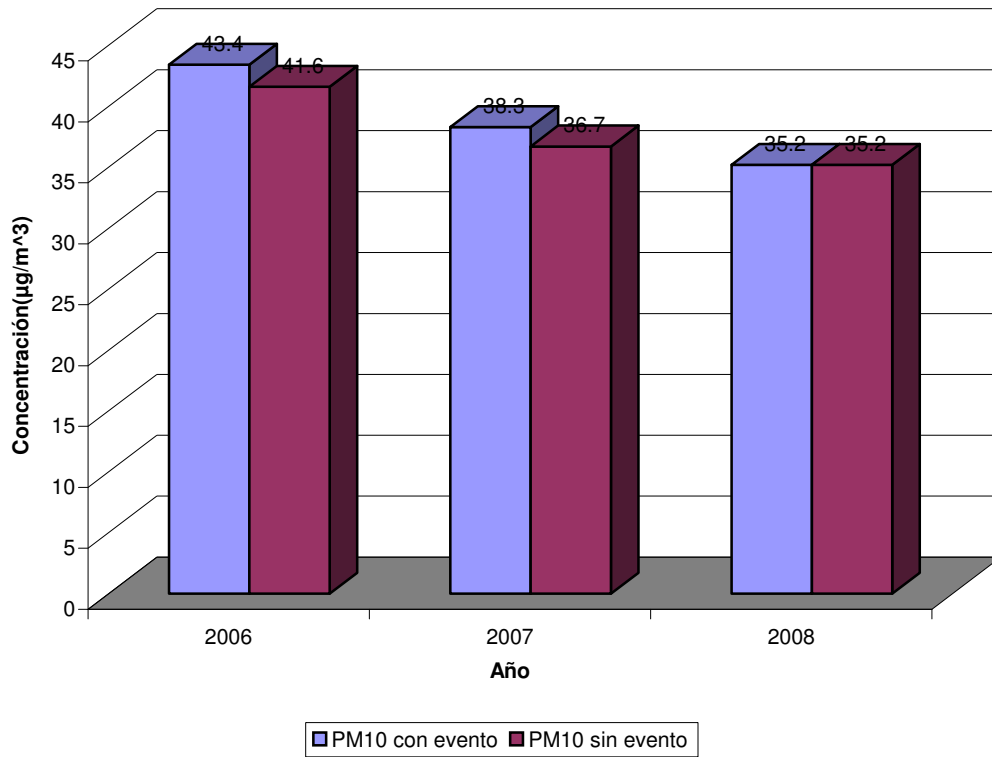


Figura 17. Total de querellas por material particulado por mes en Ponce Puerto Rico (2008).



*Figura 18.* Promedio anual de concentración de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con evento atmosférico y sin evento estación 56PM10 (2006-2008).



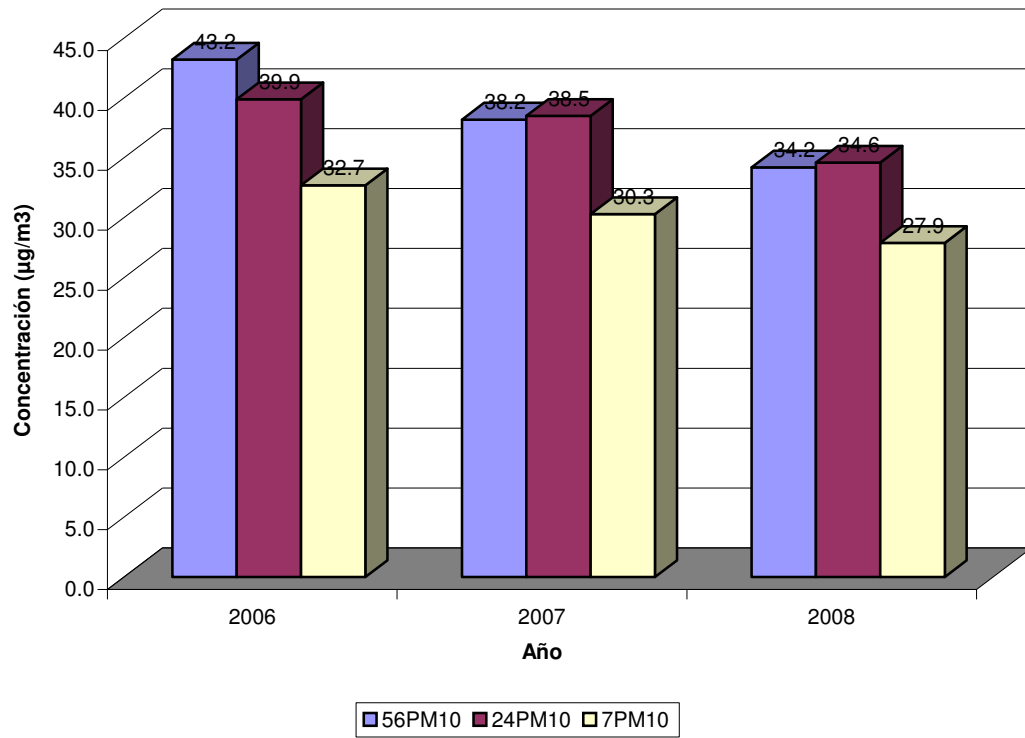


Figura 19. Promedio de concentración anual de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estaciones 56PM10, 24PM10 y 7PM10 (2006-2008).



Figura 20. Carretera 123 Ponce Puerto Rico



Figura 21. Carretera 132 y 500 Ponce Puerto Rico.