

**INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD
DEL AIRE EN SITIOS CRITICOS POR POBLACION,
MOVILIDAD Y CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE
LAS VIAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.**



**JAFFETH DAVID BERDUGO ARRIETA
DANIEL EDUARDO RAMIREZ RIVAS**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D T Y C.**

2016

INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE
EN SITIOS CRITICOS POR POBLACION, MOVILIDAD Y
CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LAS VIAS EN LA CIUDAD
DE CARTAGENA.

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JAFFETH DAVID BERDUGO ARRIETA
DANIEL EDUARDO RAMIREZ RIVAS

Grupo de investigación
MODELACIÓN AMBIENTAL

Director:
EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS, MSc, PhD

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D T Y C.
2016

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del evaluador

Firma del evaluador

Cartagena de indias, 31 de marzo del 2016

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría que estas líneas sirvieran para expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a DIOS y a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al PhD. MSc. EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Nos mostramos agradecidos con la Ing. VANESSA ALVAREZ NARVAEZ debido al trabajo conjunto que se realizó para desarrollar a cabalidad la investigación.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por nuestro trabajo y las sugerencias recibidas de los profesores MONICA ELJAIEK URZOLA, JAVIER MOUTHON y DALIA MORENO EGEL de la Universidad de Cartagena. También nos gustaría agradecer la ayuda recibida de la profesora MARIA ELENA HUERTA de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Quisiéramos hacer extensiva nuestra gratitud a nuestros compañeros del Programa de ingeniería civil y, especialmente al equipo de investigación GIMA de la Universidad de Cartagena por su colaboración.

También queremos dar las gracias a CESAR ARCINIEGAS, supervisor del EPA por su colaboración en el suministro de los datos.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de nuestras familias y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.



TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE ILUSTRACIONES	8
LISTADO DE GRÁFICOS	9
LISTADO DE TABLAS.....	11
LISTADO DE ECUACIONES.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS	19
2.1. GENERAL	19
2.2. ESPECÍFICOS	19
3. MARCO DE REFERENCIA.....	20
3.1. ESTADO DEL ARTE	20
3.2. ANTECEDENTES.....	23
3.3. MARCO TEÓRICO	29
3.3.1. AFORO VEHICULAR.....	29
3.3.2. FACTORES DE EMISIÓN (FE).....	31
3.3.3. METODOLOGÍA DEL MUESTREO.....	32

3.3.4.	CONTAMINANTES CRITERIOS.....	33
3.3.5.	MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA.....	34
3.3.6.	LA METEOROLOGÍA EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	39
3.4.	MARCO LEGAL	41
4.	ALCANCE	44
5.	METODOLOGIA.....	46
5.1.	PROCESO METODOLÓGICO.....	47
5.1.1.	1° FASE: SELECCIÓN DE SITIOS PARA EL ESTUDIO.....	47
5.1.2.	2° FASE: DESCRIPCIÓN DE LOS LUGARES SELECCIONADOS	47
5.1.3.	3° FASE: MEDICIÓN DE CAMPO	72
5.1.4.	4° FASE: CONCENTRACIÓN POR ESTIMADO DE FACTORES DE EMISIÓN.	75
5.1.5.	5° FASE: CALIDAD DEL AIRE EN PROYECTOS VIALES.	77
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
6.1.	1° FASE: SELECCIÓN DE SITIOS PARA EL ESTUDIO.....	79
6.2.	2° FASE: DESCRIPCIÓN DE LOS LUGARES SELECCIONADOS.....	83
6.3.	3° FASE: MEDICIÓN DECAMPO	93
6.4.	4° FASE: CONCENTRACIÓN POR ESTIMADO DE FACTORES DE EMISIÓN.	101
6.5.	5° FASE: CALIDAD DEL AIRE EN PROYECTOS VIALES.....	107
7.	CONCLUSIONES	125
8.	RECOMENDACIONES.....	127

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS	128
ANEXOS	133

LISTADO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. TOMA DE MUESTRAS DE CONTAMINANTES.....	32
ILUSTRACIÓN 2. FUNDAMENTOS DEL MODELO GAUSSIANO.....	37
ILUSTRACIÓN 3. FASES PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	46
ILUSTRACIÓN 4. CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO.....	71
ILUSTRACIÓN 5. AV PEDRO HEREDIA SECTOR MARÍA AUXILIADORA.....	71
ILUSTRACIÓN 6. CORREDOR DE CARGA-CEBALLOS.....	72
ILUSTRACIÓN 7. MODELO 48I ANALIZADOR DE CO	73
ILUSTRACIÓN 8. ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	74
ILUSTRACIÓN 9. MODELO DATARAM 4.....	74
ILUSTRACIÓN 10. UBICACIÓN DE LOS 6 SITIOS SELECCIONADOS).....	80
ILUSTRACIÓN 11. MAPA DE CALOR.....	81
ILUSTRACIÓN 12. MAPAS DEL USO DEL SUELO.....	82
ILUSTRACIÓN 13. ROSA DE VIENTO BASE NAVAL.....	83
ILUSTRACIÓN 14. ROSA VIENTO CAI OLAYA.....	84
ILUSTRACIÓN 15. ROSA DE VIENTO CARDIQUE	84
ILUSTRACIÓN 16. ROSA DE VIENTOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.....	85
ILUSTRACIÓN 17. OBSTÁCULOS BDA	90
ILUSTRACIÓN 18. OBSTÁCULOS MA	91
ILUSTRACIÓN 19. OBSTÁCULOS CEBALLOS	92
ILUSTRACIÓN 20. PUESTA EN SITIO BOMBA EL AMPARO.....	93
ILUSTRACIÓN 21. PUESTA EN SITIO MARIA AUXILIADORA.....	95
ILUSTRACIÓN 22. PUESTA EN SITIO PEAJE DE CEBALLOS.....	97

LISTADO DE GRÁFICOS

GRAFICO 1. PRODUCCIÓN MUNDIAL VEHÍCULOS.....	15
GRAFICO 2. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PM ₁₀	25
GRAFICO 3. CONCENTRACIONES DEL CONTAMINANTE CO ANUAL.....	65
GRAFICO 4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS SOFTWARE.....	76
GRAFICO 5. CONCENTRACIONES DE CO PROMEDIO	86
GRAFICO 6. CONCENTRACIONES DE CO MÁXIMA	86
GRAFICO 7. CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} MÁXIMA	87
GRAFICO 8. CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} PROMEDIO	87
GRAFICO 9. CONCENTRACIONES DE CO CADA HORA.....	94
GRAFICO 10. CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} CADA HORA	94
GRAFICO 11. CONCENTRACIONES DE CO CADA HORA.....	96
GRAFICO 12. CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} CADA HORA	96
GRAFICO 13. CONCENTRACIONES DE CO CADA HORA.....	98
GRAFICO 14. CONCENTRACIONES DE PM _{2.5} CADA HORA	98
GRAFICO 15. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIAS CO.....	99
GRAFICO 16. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIAS PM _{2,5} ...	100
GRAFICO 17. PROMEDIO HORARIO DE AFOROS BDA	101
GRAFICO 18. PROMEDIO HORARIO DE AFOROS MA	102
GRAFICO 19. PROMEDIO HORARIO DE AFOROS CEBALLOS	102
GRAFICO 20. COMPARACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR.....	103
GRAFICO 21. CONCENTRACIONES DE CO BDA.....	104
GRAFICO 22. CONCENTRACIONES DE CO MA.....	104
GRAFICO 23. CONCENTRACIONES DE CO CEBALLOS.....	105
GRAFICO 24. CONCENTRACIONES EN PPM DE PM _{2.5} BDA	106
GRAFICO 25. CONCENTRACIONES EN PPM DE PM _{2.5} CEBALLOS	106

GRAFICO 26. CONCENTRACIONES EN PPM DE PM _{2.5} MA	107
GRAFICO 27. COMPARACIÓN DE LA NORMA PM _{2,5}	109
GRAFICO 28. INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR PM 2,5	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
GRAFICO 29. COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES	109
GRAFICO 30 COMPARACIÓN DE LA NORMA PM 2,5.	110
GRAFICO 31. INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR PM 2,5 CAMPO	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
GRAFICO 32. COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES	111
GRAFICO 33. COMPARACIÓN DE LA NORMA PM 2,5	112
GRAFICO 34. INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR PM _{2,5}	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
GRAFICO 35. COMPARACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES	113
GRAFICO 36. COMPORTAMIENTO ENTRE TIPO DE VEHÍCULOS PM _{2,5}	121
GRAFICO 37. COMPORTAMIENTO ENTRE TIPO DE VEHÍCULOS CO.	121

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. ÍNDICE DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NACIONAL.	16
TABLA 2. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	27
TABLA 3: MONITOREO A LA CALIDAD DEL AIRE EN CARTAGENA	28
TABLA 4. RESULTADOS CALIDAD DE AIRE CIUDAD DE CARTAGENA	28
TABLA 5. CLASES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.	40
TABLA 6. NORMAS DE EMISIÓN PERMISIBLE PARA FUENTES MÓVILES	41
TABLA 7. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES CONTAMINANTES CRITERIO	42
TABLA 8. SENSIBILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA.....	78
TABLA 9. FACTORES DE EMISIÓN SELECCIONADOS.....	79
TABLA 10. RESULTADO DE LA PONDERACIÓN.	88

LISTADO DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 . VELOCIDAD EN EL EJE X	51
ECUACIÓN 2. VELOCIDAD EN EL EJE Y	51
ECUACIÓN 3. DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	51
ECUACIÓN 4. SUMATORIA DE SUS EJES	52
ECUACIÓN 5. ECUACION DE MONTECARLO	52

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo principal evaluar la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en tres sitios ubicados en la ciudad de Cartagena de indias. Se escogieron tres sitios de un total de seis posibles, por sus características ideales para la investigación, en cada uno de estos lugares se puso en funcionamiento un analizador de partículas con diámetro menor a 2.5 micrómetro ($PM_{2.5}$) y un analizador de monóxido de carbono (CO) ambos de carácter automático. El tiempo de duración fue de aproximadamente 1 mes en cada zona. Al tiempo del muestreo automático, se realizaron ocho aforos vehiculares por mes, registrando autos, buses, vehículos pesados y motos cada 5 minutos en jornadas pico y valle.

Al momento de observar los datos obtenidos por el analizador de partículas, se destaca que la Carretera de la Cordialidad sector Bomba el Amparo tiene las concentraciones más elevadas de $PM_{2.5}$, seguido del Corredor de carga sector Ceballos y por último la Avenida Pedro de Heredia sector María Auxiliadora. Los datos obtenidos por el analizador de CO, a pesar de ser poco veraces, muestra la sensibilidad del equipo ante los cambios de este contaminante, en todos los sitios de estudio en la mañana se observa un aumento considerable en la concentración de CO, la cual disminuye hasta las 13:00-14:00 para volver a subir entre las 19:00-20:00 horas. Comparando con el número de vehículos totales contados en las jornadas de aforo, utilizando los software CALINE3 Y CALINE4 para predicción de contaminantes criterios se pudo afirmar que la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en los sitios escogidos, es alta.

Al analizar los coeficientes de correlación para los contaminantes $PM_{2.5}$ y CO, se observa que la categoría vehicular que tiene mayor ajuste al comportamiento de la concentraciones en la mayoría de los sitios de monitoreo son las motos. Los resultados muestran que esta categoría por su gran afluencia y FE dentro de la media, es la más incidente en la calidad de aire en la ciudad de Cartagena.

ABSTRACT

The present paper of degree had as a principal aim evaluate the incidence of the traffic flow in the quality of the air in three sites located in the city of Cartagena of Indies.

There were chosen three sites of a total of six possible ones, for their ideal characteristics for the investigation, in each of these places an analyzer of particles was operating with a diameter lower to 2.5 on micrometer ($PM_{2.5}$) and an analyzer of carbon monoxide (CO) both of automatic character. The time of duration was approximately 1 month in every zone. AT the moment of the automatic sampling, eight traffic appraisals were realized per month, registering cars, buses, heavy vehicles and motorcycles every 5 minutes per each rush and valleys hours.

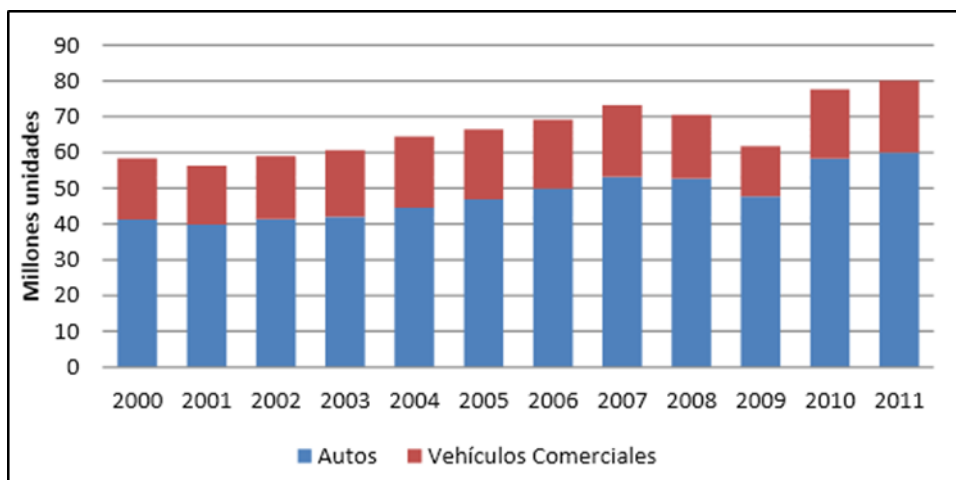
Upon observing the data obtained by the particle analyzer, it stands that the Road of the Cordialidad sector Bomba el Amparo has the highest concentrations of $PM_{2.5}$, followed of the freight Corridor sector Ceballos and finally the Avenue Pedro de Heredia sector Maria Auxiliadora. The information obtained by CO'S analyzer, in spite of being slightly veracious, there shows the sensibility of the equipment to the changes of this pollutant, in all the sites of study In the morning a considerable increase is observed in CO'S concentration, which diminishes until 13:00-14:00 to return to rise at 19:00-20:00 hours. Comparing with the number of total vehicles counted in the days of appraisal using the software CALINE3 and CALINE4 for prediction of pollutant criteria it was possible to affirm that the incident of the traffic flow in the quality of the air in the select sites, is high.

On having analyzed the coefficients of correlation for the pollutants $PM_{2.5}$ and CO, is observed that the traffic category that has major adjustment to the behavior of the concentrations in all the sites of monitoring they are the heavy vehicles. The results show that this category for his great abundance and EF inside the average, is the most incidental in the air quality in the city of Cartagena.

1. INTRODUCCIÓN

Los medios de transporte son un punto fundamental de nuestra historia y gracias a estos la comodidad y calidad de vida del ser humano se ha incrementado exponencialmente. Esto tiene como efecto secundario el aumento de la contaminación del aire en forma descontrolada, debido a las emisiones generadas por la invención y masificación de los vehículos terrestres, hecho evidenciado en el grafico 1.

Grafico 1. Producción mundial vehículos



Fuente: OICA (2011)

Los contaminantes del aire se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterios se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido adoptado en muchos países, y son: Dióxido de azufre (SO₂), Dióxido de nitrógeno

(NO₂), Material Particulado (PM), Plomo (Pb), Monóxido de carbono (CO) y Ozono (O₃). (INECC, 2013)

En diciembre de 2013 la Universidad Industrial de Santander realizó un estudio sobre los niveles de contaminantes en el aire de Cartagena, el objetivo principal de esta investigación fue describir los niveles de gases y partículas en diferentes sectores de Cartagena teniendo en cuenta los estándares nacionales de calidad de aire, gracias a este estudio se determinó que la concentración de los gases medidos en Cartagena se encuentra dentro de los límites recomendados por las normas nacionales (Tabla 1), pero las pequeñas partículas mantienen una alta concentración, especialmente en las zonas cercanas a vías con alto tráfico vehicular por lo que se recomendó la necesidad de evaluar el impacto de las partículas en los procesos respiratorios de las personas que viven cerca de carreteras. (Sánchez J, 2013)

En la Tabla 1. Se representan el número de registros dentro de la norma (<) y el número de registros que excedieron la norma nacional (>). Los registros de CO y O₃ corresponden a periodos de 8 horas y los de SO₂ y PM_{2.5} a periodos de 24 horas en mg/m³.

Tabla 1. Índice de cumplimiento de la norma nacional en cada sector.

Sectores	CO (8h)		O ₃ (8h)		SO ₂ (24h)		PM _{2.5} (24h)	
	<	>	<	>	<	>	<	>
CAI de la Esperanza	18	0	12	0	6	0	2	4
CAI de la Arrocería	12	0	12	0	4	0	0	5
CAI de Bocagrande	0	21	21	0	7	0	7	0
CAI de la Boquilla	15	0	15	0	5	0	6	0
CAI de Pasacaballos	33	0	33	0	11	0	1	10
IE Liceo de Bolívar	39	0	39	0	13	0	13	0
IE Playas de acapulco	12	0	15	0	5	0	2	3
UDC sede Zaragozilla	0	16	16	0	5	0	5	0

Fuente: (Sánchez J, 2013)

Las emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles en la Ciudad están concentradas principalmente en el casco urbano y en algunos corregimientos. En promedio se encuentran circulando aproximadamente un total de 52.275 vehículos a motor, cifra estimada por el DATT según el total de autos que se encuentran debidamente registrados en su base de datos a corte del 31 de Diciembre de 2010. Este número va en aumento cada año, y las vías no tienen un frecuente mantenimiento para estos nuevos automóviles que generan congestión en las rutas de la ciudad, consecuentemente son responsables de emisiones de material particulado producto del levantamiento al paso por las vías y de emisiones NO_x, CO y SO_x producto de la combustión incompleta de carburantes en los motores de los automóviles o en obras de construcción. (Universidad de Cartagena, 2010)

Las vías al momento de su construcción y ejecución generan una cantidad elevada de contaminación lo cual tiene consecuencias en la salud de quienes la frecuentan de manera constante aquí reside la importancia de los sistemas de vigilancia de calidad del aire (SVCA) presentes en las principales ciudades del país. Estos tienen la función de monitorear la concentración de los contaminantes criterios, para prevenir y/o evitar las altas concentraciones de estos, perjudiciales para la salud. La ciudad de Cartagena actualmente no cuenta con un SVCA, sin embargo el establecimiento público ambiental de Cartagena (EPA) posee estaciones de monitoreo de monóxido de carbono (CO) y material particulado con diámetro mayor igual a 10 micrómetros (PM_{10}). Como no se tiene un esquema general de medición de concentración de contaminantes criterio en la ciudad, toda investigación que se realice para verificar el estado de calidad del aire, es importante, ya que amplía la literatura sobre esto. El presente trabajo de grado, tuvo como objetivo, verificar la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en tres puntos estratégicamente seleccionados por sus características de población, movilidad, seguridad, uso de suelo, geometría circundante, entre otras. Para realizar esto, se necesitó comprobar la viabilidad en el uso de software de modelación ambiental CALINE 3 y CALINE 4 para predecir la concentración de CO y $PM_{2.5}$ respectivamente, con el fin de comparar esas predicciones

con las concentraciones obtenidas en campo mediante equipos de monitoreo Thermo Scientific modelo 48i analizador de CO y DataRAM4 analizador de $PM_{2.5}$.

La investigación fue desarrollada en la ciudad de Cartagena, en tres sitios escogidos por sus características, estos fueron: Urgencias veterinarias ubicado en la carretera de la Cordialidad cerca de la Bomba El Amparo, Almacén créditos San Judas ubicado en la Av Pedro De Heredia sector María Auxiliadora y por ultimo Accesorias & construcciones ubicado en el corredor de carga cerca al peaje de Ceballos. En estos se realizaron mediciones por los equipos de monitoreo Thermo Scientific modelo 48i analizador de CO y DataRAM4 analizador de $PM_{2.5}$, además se realizaron aforos manuales para conocer el flujo vehicular en los tramos de vías correspondientes a cada uno de los tres sitios. Esto se complementó con trabajo de oficina para predecir las concentraciones de CO y $PM_{2.5}$, finalmente se organizaron los datos y se confrontaron, para hallar la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire.

La ingeniería civil es una de las profesiones que promueve el desarrollo de un país, quienes la ejercemos debemos estar alarmados por las consecuencias secundarias de las construcción y ejecución de obras con respecto al impacto ecológico y social. Las vías son ejemplo de este hecho, nosotros como encargados de proyectarlas, planificarlas y de su construcción, reconocemos que existe un tránsito de vehículos elevado en estas, también se conoce una responsabilidad directa en la contaminación del aire y en consecuencia del aumento de enfermedades cardio-respiratorias de la población aledaña. La investigación radica de esta preocupación, los resultados demuestran el peligro constante de no tener control sobre esta problemática.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Evaluar la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en sitios críticos de la ciudad de Cartagena, mediante una modelación matemática y análisis estadísticos teniendo en cuenta las concentraciones del gas criterio, material particulado y volumen de vehículos, analizados con los elementos necesarios en condiciones adecuadas, para comparar con la Resolución 610 del 2010.

2.2. ESPECÍFICOS

- Identificar y localizar sitios de carácter crítico en la ciudad de Cartagena mediante una modelación preliminar utilizando el software CALINE3.
- Describir la geometría y los parámetros físicos de barreras y obstáculos, tipo de población y la movilidad de la zona a estudiar con la información existente.
- Medir concentraciones de CO y PM_{2.5}, para realizar un diagnóstico de la calidad del aire mediante la metodología directa de muestreo.
- Realizar modelación de situación atmosférica de los tramos escogidos, utilizando el software CALINE 3 Y CALINE4.

3. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se describe el Estado del arte, los antecedentes, el marco teórico y el marco legal, para presentar la historia, los conceptos y las legislaciones que maneja la investigación a nivel internacional, nacional y local.

3.1. ESTADO DEL ARTE

La calidad del aire es un tema que ha tomado gran importancia en los últimos años, esto se debe al impacto negativo que tiene en la sociedad, las alteraciones generadas por descuido a este índice de calidad de vida. Estas alteraciones se observan en muchos campos de investigación, reflejándose con mayor nitidez en la contaminación ambiental y la salud de las personas.

Muchos países cuentan en sus ciudades más importantes, con sistemas especializados de monitoreo ambiental, para obtener datos en tiempo real de concentración de los llamados contaminantes criterios, indicadores de la buena o mala calidad del aire. Gracias a estas medidas, se pueden tomar acciones para evitar las altas concentraciones de gases tóxicos. Por esto también se realizan gran cantidad de investigaciones en instituciones gubernamentales y universidades, para tratar de comprender todas las variables involucradas, además de relacionarlas con enfermedades de afección respiratoria a causa de los contaminantes.

A nivel internacional, en USA, un estudio realizado por la universidad de Texas en conjunto con la universidad de Míchigan, utilizó análisis incremental para estimar el impacto de la contaminación y caracterizar los riesgos de salud causados por la congestión vehicular. La congestión nasal puede incrementar los riesgos para las personas que conducen en autopistas y carreteras principales, y para las personas que viven o trabajan

cerca de las carreteras. Los niveles de riesgo dependen de muchos factores, incluyendo el volumen de tráfico, la mezcla de vehículo, tipo de carretera y la meteorología. Mientras que los riesgos derivados de la congestión se pueden predecir y son potencialmente significativos, incertidumbres también son altas, y por lo tanto la información adicional es necesaria para confirmar las predicciones. Este estudio sugiere que los riesgos marginales de vehículos adicionales varían, y que los determinantes clave de riesgo incluyen factores de emisión en la congestión, la relación $\text{NO}_2 - \text{NO}_x$, los cambios de tiempo de viaje, el tipo de carretera, y la ubicación de la exposición. En general, los hallazgos que los riesgos marginales no son constantes se deben utilizar para informar la política de decisiones relacionadas con el tráfico y la gestión de la calidad del aire. (Kai Zhang S. B., 2013)

En otro estudio, realizado por la universidad de Míchigan, se examinó la emisión de contaminantes y las tasas de consumo de combustible bajo flujo libre, zona de trabajo y las condiciones de congestión hora punta con un enfoque microscópico. En el estudio de la autopista y de LDVs, el período de transición cuando el tráfico está bien desacelerando de flujo libre de condiciones de congestión, o la aceleración de la congestión de las condiciones de flujo libre, se asoció con un poco más altas tasas de emisión de CO, HC y NO_x en comparación para liberar de flujo y se apresuran condiciones hora; congestión de la zona de trabajo de baja velocidad tuvo tasas de emisión mucho más bajas. El patrón para los vehículos pesados era muy diferente: la congestión zona de trabajo se asoció con las mayores emisiones de CO, HC, NO_x y CO_2 .

Teniendo en cuenta el efecto combinado de los comportamientos del conductor, vehículo volumen y mezcla, y los factores de emisión, las concentraciones dentro y cerca de la carretera de CO, HC y NO_x se espera que casi se duplique durante los períodos de hora punta en comparación con los períodos de flujo libre, dada similares condiciones de dispersión. Es evidente que las tasas de emisión de vínculos específicos dependen del grado y tipo de congestión. Si bien se analizaron pocas condiciones de congestión, los resultados destacan la importancia de la congestión de las emisiones, la exposición y los riesgos para

la salud evaluaciones, así como el análisis de la conformidad en la planificación del transporte. (Stuart Batterman, 2011)

Se realizó una investigación para hallar el Índice de calidad del aire de tráfico (TAQI), El índice de calidad del aire de tráfico es determinado basado en la verdadera emisión de fuentes de tráfico sobre la estructura de calles y de los edificios cerca de calles. Por lo tanto, esto es un instrumento útil para la evaluación objetiva de calidad del aire y la amenaza potencial a la salud humana cerca de calzadas, sobre todo en sectores de ciudad de establecimiento compactos. Es importante crear un índice de la calidad del aire para evitar posibles amenazas y actuar preventivamente. Se debe comprender la fuente de emisión antropogénica como factor básico que tiene un efecto dinámico sobre la calidad del aire, así como la estructura urbana es un importante (antropogénico) factor que tiene un impacto de dispersión de contaminantes y sobre la calidad del aire. Comprender el impacto del desarrollo estructural en las condiciones de dispersión de la contaminación del tráfico es un tema muy importante en la planificación urbana y la gestión de la calidad del aire. El análisis realizado en el documento confirma el impacto considerable de la estructura de calle cañón en los valores del TAQI, y, en consecuencia, sobre el nivel de amenaza para la salud de los habitantes. Esto significa que en el caso de asentamientos urbanos compactos (p. ej., antiguas ciudades Europeas) se debe tratar de limitar o eliminar el tránsito, especialmente de los camiones.). (Bagieński, 2014)

La Universidad Industrial de Santander realizó un estudio sobre los niveles de contaminantes en el aire de Cartagena, el objetivo principal de esta investigación fue describir los niveles de gases y partículas en diferentes sectores de Cartagena teniendo en cuenta los estándares nacionales de calidad de aire, gracias a este estudio se determinó que la concentración de los gases medidos en Cartagena se encuentra dentro de los límites recomendados por las normas nacionales, pero las pequeñas partículas mantienen una alta concentración, especialmente en las zonas cercanas a carreteras con alto tráfico vehicular. Es necesario evaluar el impacto de las partículas en los procesos respiratorios de las personas que viven cerca de carreteras. (Sánchez J, 2013)

A nivel local, en el año 2010 el EPA-Cartagena desarrolló un estudio para el diseño del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), en el cual se determinó que en la ciudad se debía contar con seis estaciones de monitoreo de la calidad del aire, cuatro de ellas distribuidas entre La Bocana, Boca grande, Bosque, Mamonal, y dos estaciones indicativas que estarían rotándose en otros puntos de la ciudad como el Centro Histórico y el área de influencia de la Avenida Pedro de Heredia, entre otros, en periodos de mínimo tres meses. (El Universal, 2011) Sin embargo actualmente esta ciudad no cuenta con un SVCA.

En el año 2011 se realizó una investigación para desarrollar el método para estimar factores de emisión en el casco urbano de la ciudad de Cartagena por gases de efecto invernadero emitidos por fuentes móviles. Utilizando la metodología de calle cañón, les permitió la predicción de dispersión de contaminantes en movimiento a partir del conocimiento de algunos parámetros de fácil medida tales como el flujo de tráfico o la velocidad media, la composición de la flota, la velocidad del viento, y el sitio con sus características geométricas. Esta metodología fue escogida como la más adecuada para aplicar en la ciudad de Cartagena, porque permite desarrollarla valiéndose de las características propias de la ciudad. (Escorcia Bolívar & Ospino García, 2011)

3.2. ANTECEDENTES

La calidad del aire, un tema que ha aumentado su relevancia en nuestro país, así lo muestra la cantidad departamentos que cuentan con monitoreo de contaminantes. El monitoreo de la calidad del aire se realiza mediante Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire - SVCA, ubicados en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cesar, Cundinamarca, Guajira, Nariño, Norte de Santander, Magdalena, Risaralda, Santander, Tolima, Quindío y Valle del Cauca y en las ciudades de Bogotá D.C., Bucaramanga, Cali y Medellín; a la fecha se tiene el reporte de 165 estaciones de monitoreo, de las cuales 132 pertenecen a los

SVCA de 19 autoridades ambientales y 33 estaciones de 4 SVCA pertenecientes a entidades privadas. (SIAC, 2010)

La calidad del aire en el territorio nacional está reglamentada mediante Resolución 601 de 2006 “Por lo cual se establece La Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia”, la cual fue modificada mediante la Resolución 610 de 2010 (Tabla 2).

En esta Norma se establecen los límites máximos permisibles y el tiempo de exposición de los contaminantes criterios y no convencionales, así como las condiciones bajo las cuales las autoridades ambientales deben declarar los estados excepcionales de prevención alerta y emergencia.

Mediante los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) se monitorean las concentraciones de contaminantes como material particulado menor a 10 micras – PM_{10} , dióxidos de azufre SO_2 y nitrógeno NO_2 , monóxido de carbono CO y ozono O_3 , entre otros, de algunas de las principales ciudades del país. Los datos empleados para el análisis son suministrados y validados por cada una de las Autoridades Ambientales.

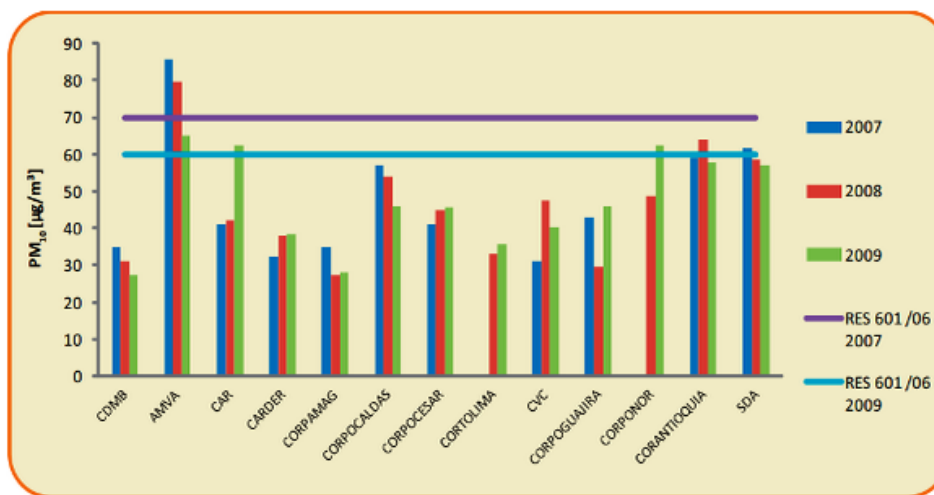
A pesar que en las diferentes ciudades se presentan sitios puntuales de alta concentración de contaminantes por tratarse de zonas industriales y de alto flujo vehicular, para este análisis se realizó un promedio por cada sistema de vigilancia de calidad de aire (SVCA) para poder observar la información de manera global y general.

En Colombia el contaminante de mayor preocupación, dada su concentración es el PM_{10} , ya que en muchas ocasiones sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la norma y la comprobada afectación a la salud de la población expuesta, en especial de los grupos sensibles, entre los que se encuentran personas con problemas respiratorios como el asma o el enfisema; las mujeres embarazadas; personas que desarrollan sus actividades al aire libre; niños menores de 14 años cuyos pulmones todavía se están desarrollando; adultos mayores

cuyos sistemas inmunológicos son más débiles y personas que se ejercitan frecuentemente al aire libre.

Se establece que este contaminante es monitoreado en el 86% de las 132 estaciones de monitoreo de la calidad del aire pertenecientes a las Autoridades Ambientales del país. El gráfico 2, muestra la concentración promedio anual de PM_{10} en las principales ciudades del país.

Gráfico 2. Concentración promedio anual de PM_{10} en las principales ciudades del país



Fuente: Informe del Estado del medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010.

Se aclara que se presentan dos límites máximos establecidos por la Resolución 601 de 2006 del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT), debido a que el valor máximo permisible anual de $70 \mu g/m^3$ pasó a $60 \mu g/m^3$ en el año 2009, haciendo la norma más restrictiva, lo cual se puede ver reflejado en un mayor número de excedencias, sin que esto signifique que la calidad del aire haya empeorado.

Al analizar el comportamiento del PM_{10} se puede ver que su concentración disminuyó en el año 2009 en relación con el 2007 en el 55% de un total de 13 SVCA analizados, mientras que su tendencia fue el aumento en la concentración promedio en el 45% de ellos. Durante todo el periodo de estudio las mayores concentraciones se presentaron en la jurisdicción de AMVA con valores para el año 2007 de $85.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el año 2008 de $79.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el año 2009 de $65.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Si se comparan los valores promedio con el límite máximo establecido para los años 2007 y 2008, se observa que los valores para AMVA superan dicho límite, al hacer este mismo ejercicio para el año 2009 se puede ver que es superado nuevamente por AMVA junto con CAR y CORPONOR. Las tendencias descritas permiten concluir que la concentración de material particulado ha disminuido en 7 de los 13 SVCA estudiados. (SIAC, 2015)

Las concentraciones de contaminantes atmosféricos en Cartagena de Indias están, en su mayoría, muy por debajo de los límites permisibles (Mónica Eljaiek Urzola, 2010) por la Resolución 610 de 2010 (tabla 2), por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Esto está claramente reflejado en los resultados de las mediciones de calidad de aire realizadas en los años: 2007 y 2008 por CARDIQUE (tabla 3), 2008 y 2009 por Ministerio de Cultura - FONADE (en el punto Baluarte de San Juan Evangelista – Centro Histórico) y 2010 durante el desarrollo de este estudio.

Sin embargo, acorde con los resultados mostrados en la tabla 4 en materia de concentraciones de material particulado existen algunas mediciones que no cumplieron con lo estipulado en dicha resolución estos son los casos de las estaciones: E3, E8, E9, E10, E17, E18, E20, E21, E1 y E2, las cuales sobrepasan los límites permisibles para tiempo de exposición anual; y de las estaciones E8 y E18, que los sobrepasan para tiempo de exposición diario. Lo anterior podría deberse a que estos puntos hacen parte de los más concurridos de la ciudad en cuanto al paso de tráfico vehicular, el cual como se mencionó anteriormente es responsable del levantamiento de polvo a su paso por las vías y de

emisiones de material particulado por la combustión incompleta de sus motores o por obras en construcción . (Universidad de Cartagena, Distrito de Cartagena., 2010)

Tabla 2. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio (Resolución 610 de 2010)

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PST	100	Anual
	300	24 horas
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2,5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	80	Anual
	250	24 horas
	750	3 horas
NO ₂	100	Anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O ₃	80	8 horas
	120	1 hora
CO	10	8 horas
	40	1 hora

Fuente: (Ministerio de ambiente, 2014)

Tabla 3: Monitoreo a la calidad del aire en Cartagena 2007-2008

	2007			2008		
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
Peaje Manga	2,32	123,29	N.D.	3,00	4,35	65
Peaje Ceballos	2,69	110,56	N.D.	4,45	7,45	92
Peaje Vikingos	2,75	97,43	N.D.	2,62	3,46	51
Promedio	2,58	110,43	N.D.	3,35	5,08	69
Límite Máximo permisible	48	80	150	48	80	150

Fuente: Cardique

Tabla 4. Resultados Calidad de Aire ciudad de Cartagena de Indias (Universidad de Cartagena, Distrito de Cartagena., 2010)

Código y Año de Medición	Nombre	Parámetro		
		PM10 (µg/m ³)	SO2 (µg/m ³)	NO2 (µg/m ³)
E1 2010	Zona Bascula corredor de carga	26	0.78	6
E2 2010	CAI del El Pozón	32	0.4	3.95
E3 2010	CAI Bosque	104	1.68	4.59
E4 2010	Intercepción Socorro, Jardines, la Victoria	51	1.27	4.76
E5 2010	Colegio Juan José Nieto	33	1.27	0.98
E6 2010	CAI - Ejecutivos	43	1.7	3.3
E7 2010	Bomba Texaco Ternera	24	5.37	9.01
E8 2010	Iglesia del Campestre	159	1.27	2.23
E9 2010	Zaragocilla	83	3.02	4.79
E10 2010	Quartelillo Olaya	73	0.85	5
E11 2010	CAI Lemaitre	31	0.86	4.31
E12 2010	CAI Santa Rita	29	0.87	3.03
E13 2010	Sociedad de Mejores Públicas	20	0	1.83
E14 2010	Clínica San Juan de Dios	43	2.54	3.2
E15 2010	Estación de servicio Bazurto	49	0.43	2.51
E16 2010	CAI Pasacaballos	37	3.4	2.54
E17 2010	Colegio La Candelaria	67	0.4	2.9
E18 2010	Estación de servicio El Gallo	196	0.43	1.73
E19 2010	Colegio Gustavo Pulecio – Flor del Campo	13	1.75	2.57
E20	CAI Terminal de Transporte	64	1.63	2.04
E21 2010	Avenida del Lago - Puente Jiménez	70	1.32	5.14
E22 2010	Iglesia de Crespo	25	2.64	3.2
P1 2007 y 2008	Peaje de Manga	65	3	123.29
P2 2007 y 2008	Peaje Ceballos	92	4.45	110.56
P3 2007 y 2008	Peaje Vikingos	51	2.75	97.43
P4 2008 y 2009	Centro Histórico Torre del Reloj	28	1	13.53

Fuente: Universidad de Cartagena, complementado con Información de Cardique y Ministerio de Cultura -FONADE.

3.3. MARCO TEÓRICO

En este subcapítulo se presentan los conceptos y definiciones manejadas en la investigación, de esta forma evitamos la mayor subjetividad posible en el momento de la interpretación de los párrafos escritos. Se define primero lo correspondiente a la toma de muestra para los vehículos, después los factores de emisión para las concentraciones, la estructura de metodología del muestreo de los equipos, los tipos de contaminantes criterios, los modelos de dispersión atmosférica y finalizando con la meteorología que se tiene en cuenta para investigar la contaminación del aire.

3.3.1. AFORO VEHICULAR

El aforo vehicular es el conteo de vehículos, es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección.

Tránsito Horario (TH), es el número de vehículos que pasan durante una hora.

Volúmenes de Tránsito: Es el número de vehículos que pasa un punto determinado durante un periodo específico de tiempo.

Densidad de Tránsito: Es el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de carretera en un instante dado.

Intensidad o Volumen Medio Diario (VMD): Es el volumen total que pasa por una sección transversal o por un segmento de una carretera, en ambos sentidos, durante un año, dividido entre el número de días en el año. Se puede obtener también para un solo sentido.

Los aforos se hicieron de forma manual, en estos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo,

número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 5 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo.

- El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.
- Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

Flujo vehicular.

Es la principal fuente de emisión en los sistemas urbanos, en este estudio, debido que solo se puede inferir en esta fuente, es la única que se ha tenido en específica consideración, los contaminantes derivados de otras fuentes quedan incluidos dentro de la contaminación de fondo de la ciudad. Las emisiones provenientes del flujo vehicular dependen de multitud de factores complicando así su estimación. Se puede considerar que no hay dos vehículos que emitan la misma cantidad de gases contaminantes. Los factores de los que dependen estas emisiones son: (1) factores propios del vehículo como la tipología de vehículo, la antigüedad de éste, el peso, el combustible que usa o la velocidad a la que circula, (2) factores externos como la del tramo, el tipo de pavimento de la vía por donde circula o la temperatura ambiente y (3) factores personales tales como la forma de conducir o la longitud de los recorridos. Todos estos factores hacen casi imposible un cálculo determinado de las emisiones producidas por el tráfico de vehículos y se ha optado por una estimación a partir del máximo número de factores posibles. (Gasteiz, 2007)

3.3.2. FACTORES DE EMISIÓN (FE)

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o consumo de combustible. En el caso de los vehículos automotores, los factores de emisión se expresan en unidades de masa de contaminante emitido por distancia recorrida.

Las emisiones contaminantes de un vehículo son influenciadas por su edad, la tecnología del motor, la velocidad de circulación, las características del combustible, las condiciones de operación, las condiciones meteorológicas y muchos otros elementos.

Las emisiones vehiculares son complejas y dinámicas, lo que dificulta la determinación de sus factores de emisión. Sin embargo, a través de los años se han desarrollado diferentes técnicas para la determinación los factores de emisión de fuentes móviles, las cuales se pueden clasificar en: 1) técnicas directas, y 2) técnicas indirectas. (Instituto nacional de ecología, 2009) .

Técnicas indirectas para medir concentración de contaminantes criterio.

Las técnicas indirectas no involucran mediciones en cada fuente en el lugar o zona de estudio, sino que utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otros lugares y las correlacionan con la flota específica que se estudia y los parámetros locales que afectan sus emisiones. Un ejemplo de este tipo de técnicas es el uso de factores de emisión, que pueden ser estimados para cada tipo o categoría vehicular de manera general constituyendo lo que se conoce como factores de emisión globales, o bien pueden ser desagregados por año modelo.

Debido a la complejidad del manejo de las múltiples variables que afectan a la flota y sus emisiones, existen modelos computacionales diseñados expresamente para estimar los factores de emisión de las fuentes vehiculares. Básicamente, a través del análisis de bases datos provenientes de mediciones directas realizadas en una gran cantidad de vehículos, estos modelos determinan el factor de emisión (en g/Km.) para cada contaminante de

acuerdo a cada combinación de tipo de vehículo, tipo de combustible, nivel tecnológico y edad del vehículo, nivel de actividad distribuido por velocidad, Perfil de número de viajes y arranques, Otros factores, como temperatura ambiental y altitud. (Instituto nacional de ecología, 2009)

3.3.3. METODOLOGÍA DEL MUESTREO.

Se basa en la utilización de un soporte que capte y retenga el contaminante presente en el ambiente. Posteriormente, la muestra (soporte + contaminante), se remite a un laboratorio para el análisis cualitativo y cuantitativo de la misma como lo muestra la Ilustración 1. (ASEPEYO, 2012) En nuestro caso el equipo Thermo Scientific modelo 48i funciona captando la muestra y analizando de manera inmediata sin necesidad de remitir a un laboratorio por lo que sería una metodología de muestreo directo.

Ilustración 1. Proceso toma de muestras de contaminantes químicos.



Fuente: (ASEPEYO, 2012)

3.3.4. CONTAMINANTES CRITERIOS.

El monóxido de carbono (CO): es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal, pues impide el transporte del oxígeno a la sangre, lo que puede ocasionar una reducción significativa en la dotación de oxígeno al corazón.

El monóxido de carbono se forma en la naturaleza mediante la oxidación del metano (CH₄), que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina por falta de oxígeno. (INECC, 2013)

Material particulado (MP): El material particulado forma una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño del material particulado varía desde 0.005 hasta 100 micras (10⁻⁶) de diámetro aerodinámico, esto es, desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano.

Las partículas se forman por procesos naturales como la polinización de las plantas e incendios forestales y por fuentes antropogénicas que abarca, desde la quema de combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas. Las partículas pueden ser directamente emitidas de la fuente, como partículas primarias y pueden formarse partículas secundarias cuando reaccionan algunos gases en la atmósfera tales como: los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, el amoníaco, los compuestos orgánicos, etc. (INECC, 2013)

Entre más pequeñas sean las partículas pueden penetrar directamente hasta el interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos debido a sus inherentes características fisicoquímicas. En varios estudios, llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a partículas finas provenientes de la combustión es un factor importante de riesgo ambiental en casos de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardio-pulmonares (Pope et al., 2002).

3.3.5. MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

Los modelos de dispersión atmosférica son una simulación matemática sobre cómo los gases se dispersan en la atmósfera. Son especialmente interesantes para el estudio de la dispersión de contaminantes, ya que permiten simular las condiciones reales de transporte y dispersión de los gases como producto de una interacción de las condiciones meteorológicas con las propias fuentes de emisión.

La dispersión de contaminantes depende de varios factores, entre los que están la propia naturaleza física y química de los gases, las condiciones meteorológicas del ambiente, la localización de la fuente emisora o el grado de turbulencia en la atmósfera. Por ello, la información de entrada básica para este tipo de modelos considera la ubicación geográfica de las fuentes emisoras, los factores de emisión de los contaminantes emitidos, la concentración de fondo inicial y factores meteorológicos tales como la turbulencia atmosférica, la velocidad del viento, la temperatura o la presión atmosférica. En resumen, los cálculos necesarios requieren de información básica sobre la fuente del contaminante y las condiciones meteorológicas.

Estos modelos tratan de resolver una ecuación llamada ecuación de advección-difusión, que define la evolución de la concentración de un contaminante en un lugar determinado, dependiendo de los siguientes factores:

- Lugar e intensidad con la que se está emitiendo el contaminante. Esta información se obtiene en casos simples por medidas directas, pero en la mayoría de las ocasiones es necesario utilizar modelos de emisiones.
- El campo de vientos y otras variables meteorológicas. El campo de vientos es el principal responsable del transporte de contaminantes mientras que el resto de variables informan del estado turbulento de la atmósfera y de qué manera va a afectar a la dispersión de contaminantes.
- La eficacia con la que el contaminante se deposita en la superficie terrestre.

- El modo en el que reacciona con otros compuestos. Los modelos químicos son los que incorporan las ecuaciones químicas representativas de las reacciones implicadas.

Hay que tener en cuenta que los modelos no describen con exactitud el problema de la contaminación de una zona determinada. Estos sólo constituyen una representación aproximada de lo que sucede; por lo tanto, hay que tener presente que la calidad de los resultados depende de los factores que el modelo utiliza como parámetros de entrada, tales como la exactitud del inventario de emisiones, la incertidumbre de los procesos físico químicos que sufren los contaminantes durante su transporte, la calidad y representatividad de los datos meteorológicos, o la validación del modelo en una situación determinada. Es decir, el modelo puede ser adecuado en una situación particular pero no en otra. (Fernández, Cálculo de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado mediante el modelo de dispersión atmosférica caline 4, 2011)

Aplicación de los modelos de dispersión atmosférica

El modelo de dispersión atmosférica es una herramienta muy útil para, en este caso, simular el comportamiento de los gases contaminantes procedentes del tráfico rodado en un área determinada dentro de una carretera. Sin embargo, sus utilidades pueden ser muchas más en el ámbito científico y en la gestión ambiental.

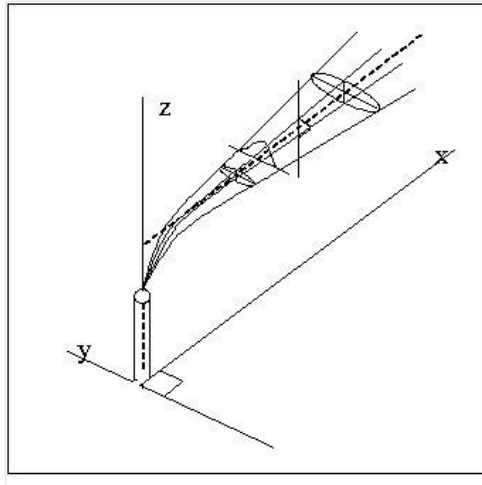
La simulación de la dispersión atmosférica de los gases a través de estos modelos es muy útil para la planificación de campañas experimentales, ya que permiten obtener información previa sobre dónde puede existir mayor concentración. Con respecto a las aplicaciones en el campo de la gestión medioambiental, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, establece diversas actividades que son detalladas a continuación:

- Estudios sobre la calidad del aire y de impacto ambiental de distintas actividades.
- Determinación de medidas óptimas de reducción de la contaminación atmosférica con la mejor relación coste/beneficio.
- Control y prevención de la contaminación atmosférica y gestión de emergencias.
- Apoyo a la elaboración y verificación del cumplimiento de la legislación y reglamentación para mejorar la calidad del aire.
- Otras aplicaciones, tales como la planificación medioambiental, urbanística, industrial y energética o el diseño de las redes de monitorización de la contaminación. (Fernández, Cálculo de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado mediante el modelo de dispersión atmosférica caline 4, 2011)

Modelos Gaussianos

Están basados en sencillas hipótesis referentes a la naturaleza estocástica de la turbulencia y la dispersión de los gases contaminantes. Por ello, son modelos muy manejables, fáciles de programar y de ejecutar en un ordenador. Estos modelos asumen que la distribución del contaminante dentro de la nube sigue una distribución de Gauss (campana de Gauss), de ahí su nombre. En la ilustración 2 se muestra una sencilla representación gráfica del funcionamiento de un modelo de dispersión tipo Gaussiano. (Fernández, Cálculo de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado mediante el modelo de dispersión atmosférica caline 4, 2011)

Ilustración 2. Fundamentos del modelo Gaussiano



Fuente: CIEMAT

Para la realización de este proyecto se ha utilizado el modelo de dispersión de tipo Gaussiano CALINE3 y CALINE4.

Modelo de dispersión atmosférica: CALINE3

El modelo está basado en las ecuaciones de difusión Gaussiana y emplea el concepto de la zona de mezcla para caracterizar la dispersión de la contaminación sobre el área de estudio. CALINE 3 es capaz de predecir las concentraciones de los gases en estudio en los receptores establecidos en el sistema con una distancia de hasta 500 metros desde la calzada, teniendo en cuenta el conjunto de parámetros de entrada establecidos al arrancar la ejecución del programa.

El modelo está diseñado para ser utilizado por usuarios no necesariamente experimentados, ya que no requiere demasiados datos de entrada y los pasos a seguir son muy intuitivos. Concretamente, los parámetros de entrada que han de ser introducidos por el usuario son el volumen de tráfico, los factores de emisión, la geometría del área de estudio, la velocidad y

dirección del viento, la temperatura, la altura de la zona de mezcla, la clase de estabilidad atmosférica y la posición de los receptores. Del mismo modo, el modelo devuelve los valores de concentración en los puntos definidos de una manera clara y ordenada para poder ser analizados con facilidad por el usuario.

Modelo de dispersión atmosférica: CALINE4

CALINE4 es el último en una serie de modelos de calidad del aire de fuente de línea desarrollados por el Ministerio de transporte de California (Caltrans). Está basado en la ecuación de difusión Gaussiana y emplea un concepto de la zona que se mezcla para caracterizar la dispersión contaminante sobre la calzada.

El objetivo del modelo es de evaluar impactos de calidad del aire cerca de instalaciones de transporte. La fuerza dada de la fuente, la meteorología y la geometría de sitio, CALINE4 pueden predecir concentraciones contaminantes para receptores localizados dentro de 500 metros de la calzada. Además de la predicción de las concentraciones de agentes contaminadores relativamente inertes como el monóxido de carbono, el modelo puede predecir el dióxido de nitrógeno y concentraciones de partícula suspendidas. Esto también tiene opciones especiales para modelar la calidad del aire cerca de intersecciones, cañones de la calle y aparcamientos.

CALINE4 debería ser pensado como una versión puesta al día y dilatada de CALINE3. Mientras los modelos usan métodos diferentes para desarrollar sus curvas de dispersión verticales y horizontales, los resultados finales se diferencian muy poco por la calidad del aire que modela normas. Principalmente, las diferencias técnicas entre los dos modelos representan "la puesta a punto" del método Gaussiano (aplicado a la fuente de línea que modela) y el modelo de la zona que se mezcla. Las verdaderas diferencias entre los dos modelos están en las áreas de flexibilidad de entrada/salida mejorada y capacidades dilatadas.

3.3.6. LA METEOROLOGÍA EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Estudio de la forma como los procesos atmosféricos -tales como el viento y el intercambio de calor- afectan el destino de los contaminantes del aire. (CEPIS, 2015)

Las variables utilizadas en este estudio pertinentes a la meteorología para las modelaciones son la dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad atmosférica, humedad relativa, radiación solar entrante, insolación, nubosidad y la precipitación.

Capa de mezcla, altura de mezcla

La mayor parte de los residuos volátiles no llegan a ascender más de unos cuantos centenares de metros. El aire en esta zona de la atmósfera está en contacto con la superficie terrestre y su movimiento está afectado por la rugosidad de ésta. Ello da lugar a que se produzcan turbulencias y en consecuencia que tenga lugar una mezcla constante de los componentes atmosféricos. Es por esta razón que a esta zona más baja de la atmósfera terrestre se denomina capa de mezcla. La capa de mezcla puede interpretarse como el espesor de atmósfera en que se difunden (se mezclan) los contaminantes. El espesor de la capa de mezcla dependerá de las condiciones de la atmósfera, en particular de la clase de estabilidad, de la radiación solar, de la velocidad del viento y del tipo de terreno. (Moragues, 2015)

El espesor de capa de mezcla varía en un mismo día, desde un valor mínimo en las primeras horas de la mañana, hasta un valor máximo, poco antes de que se ponga el sol. Los espesores mínimo y máximo cambian de un día a otro, con las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica y con la tasa de insolación recibida. Es de suma importancia estimar la capa de mezclado que se tendrá, ya que junto con el inventario de emisiones y el monitoreo atmosférico, esta información es base para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas en el tema de contingencias ambientales. (Vázquez, 2011)

Estabilidad atmosférica

Característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire. Las seis clases que caracterizan los diferentes niveles de estabilidad atmosférica usados para estimar los parámetros de dispersión horizontal y vertical que serán ingresados en la ecuación de distribución gaussiana. (OSMAN)

La estabilidad atmosférica se puede clasificar utilizando la siguiente tabla:

Tabla 5. Clases de estabilidad atmosférica según las relaciones de Pasquill.

	Velocidad del Viento	Clase de Pasquill (Estabilidad Atmosférica)	Altura de la mezcla (m)
Día	0-2 m/s	A (muy inestable)	1600
(Alta	2-3 m/s	B (inestable)	1200
Insolación)	3-5 m/s	C (ligeramente inestable)	800
	>5 m/s	D (neutra)	560
Día	0-2 m/s	B	1200
(Baja	2-3 m/s	C	800
Insolación)	3-5 m/s	D	560
	>5 m/s	D	560
Noche	0-2 m/s	F (estable)	200
	2-3 m/s	F	200
	3-5 m/s	E (ligera estabilidad)	320
	>5 m/s	D (neutra)	560
	Nublado	D	560

Fuente: (Universidad de Pinar del Río, 2010)

3.4. MARCO LEGAL

La Resolución 5 del 9 de enero de 1995 concertada por el Ministerio de Transporte y concertada por el Ministerio de Transporte y el Ministerio del Medio Ambiente por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.

En su capítulo I da a conocer las emisiones permisibles para los vehículos a gasolina

Artículo 8: Normas de Emisión Permissible para vehículos nuevos y usados.

A partir del 1 de enero de 1997, toda fuente móvil con motor a gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o Ralentí y a temperatura normal de operación, no podrá emitir Monóxido de Carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 8.

Artículo 9: Dispositivos de Control.

Cuando un vehículo a gasolina no cumpla con la Norma de Emisión señalada en el artículo anterior, deberá ser objeto de las correcciones mecánicas correspondientes.

Tabla 6. Normas de emisión permissible para fuentes móviles con motor a gasolina en condición de marcha mínima o ralentí.

AÑO MODELO	%CO* ALTURA/NIVEL DEL MAR (0- 1.500)	%CO* ALTURA/NIVEL DEL MAR (1.501-3.000)	PPM HC**ALTURA/NIVEL DEL MAR (0-1.500)	PPM HC**ALTURA/NIVEL DEL MAR (1.501-3.000)
2001 y posterior	1.0	1.0	200	200
2000-1998	2.5	2.5	300	300
1997-1996	3.0	3.5	400	450
1995-1991	3.5	4.5	650	750
1990-1981	4.5	5.5	750	900
1980-1975	5.5	6.5	900	1000
1974 o anteriores	6.5	7.5	1000	1200

Fuente: Resolución 5 del 9 de enero de 1995

Resolución número 610 del 2010

Artículo 4. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio. En la Tabla 7 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales se calculan con el promedio geométrico para PST y promedio aritmético para los demás contaminantes.

Tabla 7. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Nivel Máximo Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PST	100	Anual
	300	24 horas
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2,5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	80	Anual
	250	24 horas
	750	3 horas
NO ₂	100	Anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O ₃	80	8 horas
	120	1 hora
CO	10000	8 horas
	40000	1 hora

Fuente: (Ministerio de ambiente, 2010)

Luego de realizar todas las actividades de monitoreo en los sitios seleccionados, los datos recolectados por los equipos analizadores de CO y $PM_{2.5}$, se organizaron de tal forma que se puedan comparar con los niveles máximos permisibles de mostrados en la tabla 7. Esto se realizó para conocer el estado actual de la calidad del aire referente a los contaminantes criterios estudiados.

4. ALCANCE

El proyecto se realizó en el casco urbano de Cartagena, se escogieron tres lugares donde la producción de partículas y gases contaminantes criterios es de manera excesiva debido al flujo vehicular; Los tres sitios fueron seleccionados de una lista de postulados y categorizados según la peculiaridad de la población usuaria, rango de movilidad, afluencia del transporte y las dimensiones físicas de la vía.

El tiempo de duración para la elaboración de este estudio fue de un año.

Las diferentes variables que se tuvieron en cuenta para lograr el objetivo general con respecto al flujo vehicular son: 1. El tipo y tamaño de población, 2. La clase de movilidad, 3. Tamaño y tipo de afluencia vehicular, 4. Características físicas viales. En el caso de la contaminación atmosférica se tendrán en cuenta el grado de concentración del: 1. Dióxido de Carbono (CO₂), 2. Partículas PM_{2,5}.

Se utilizaron instrumentos que posee la Universidad de Cartagena, los resultados fueron evaluados con los estándares nacionales de la calidad del aire, dados por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

En el estudio existe una evaluación de la técnica indirecta teniendo en cuenta la correlación de factores de emisión que utilizamos para la ciudad en los proyectos donde se tiene en cuenta la incidencia de las emisiones de gases tóxicos y material particulado ocasionadas por un flujo vehicular en la calidad del aire. En este procedimiento se efectuó una caracterización por ponderación de los sitios y se realizó un aforo vehicular para las variables de la técnica, esta no será comparada con los estándares nacionales de la calidad del aire.

Como producto se entrega una correlación que evalúa los niveles de concentraciones con la incidencia del flujo vehicular en cada uno de los lugares; lo cual sirve para futuros proyectos en ingeniería donde se deba determinar el impacto ambiental con respecto a la calidad del aire en otros sitios de la ciudad con dimensiones similares.

Para este proyecto no se tuvo en cuenta la calidad del aire para la salud de los usuarios, no se crearon nuevos modelos de factores de emisión para la ciudad y no se consideran los otros gases contaminantes dados por un efecto invernadero en los lugares seleccionados.

5. METODOLOGIA

Debido a la cantidad de variables independientes que se relacionan en trabajo, se reconoce como una investigación mixta, donde se utilizan instrumentos de monitoreo ambiental, aforos vehicular e investigación bibliográfica determinando cada una por un análisis cuantitativo-cualitativo, realizado en cinco fases como lo demuestra la ilustración 3.

Ilustración 3. Fases para el desarrollo de la investigación.



Fase 1

- **Selección de sitios para el estudio:** Búsqueda de información para destacar los lugares mas apropiados para el estudio

Fase 2

- **Descripción de los lugares:** Ponderación de las variables que describen los lugares

Fase 3

- **Medición de CO y PM_{2,5} por instrumentod e campo:** Puesta en sitio de los intrumentos de medicion

Fase 4

- **Concentración de CO y PM_{2,5} por estimado de factores de emisión:** Con aforos y utilizando CALINE3 y CALINE4 se modelaron con factores de emision las concentraciones de los contaminantes

Fase 5

- **Calidad del aire en proyectos viales:** Comparación entre la flota vehicular con la concetracion medida en campo

5.1.PROCESO METODOLÓGICO

Este proyecto se realizó en un periodo de seis meses, desarrollado en cinco fases, las cuales describen las actividades en su respectivo orden de ejecución, el tiempo propuesto para cada una, fue puntualizado en el cronograma del proyecto.

5.1.1. Primera Fase: Selección de sitios para el estudio.

En la búsqueda de antecedentes y estado del arte, principalmente referencias de estudios con índoles similares al proyecto en la ciudad, donde también incluye recomendaciones de las entidades gubernamentales, se destacaron seis (6) sitios postulantes para el estudio, cada lugar se examinó geográficamente mediante el uso de software Google Earth y detallando con Street View todas las características físicas del espacio.

Se solicitó toda la información disponible sobre meteorología, flujo vehicular, metodologías, a los entes correspondientes, EPA, CARDIQUE, Alcandía de Cartagena, base de datos de la universidad de Cartagena, entre otros, para recopilar información meteorológica, estudios ambientales, mapas de uso de suelo, mapas de seguridad, etc.

5.1.2. Segunda Fase: descripción de los lugares seleccionados.

Culminada la fase anterior, se continuó con la escogencia de tres sitios por medio de ponderación y se realizó una visita de campo a los lugares. Esta tuvo como objetivo verificar las características ideales sugeridas por el EPA para un correcto muestreo de contaminantes atmosféricos.

- Altura de la toma de muestra sobre el piso: 2-15 m.
- Distancia al árbol más cercano: > 20 m de la circunferencia que marca el follaje o las raíces y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como un obstáculo.

- La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, debe ser mínimo, el doble de la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m.
- El equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, 270° alrededor de la toma de muestra y/o un ángulo de 120° libre por encima del equipo.
- No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. Se recomienda 20 m de distancia del sitio de muestreo.
- La distancia a las carreteras/caminos debe ser de 2 a 10 m del borde a la línea de tráfico más cercana.

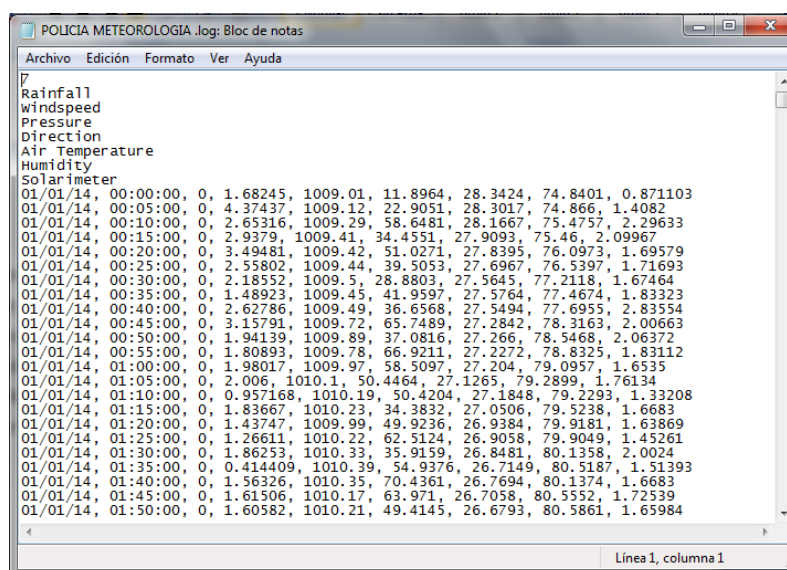
Para la ponderación se tuvo en cuenta las variables: mediciones previas, modelación, seguridad, influencia de otras fuentes, accesibilidad, barreras y obstáculos.

Para las variables en mediciones previas se tuvieron en cuenta los antecedentes en proyectos de ingeniería de los seis sitios seleccionados, en la parte de seguridad se reconoce la población usuaria de los lugares por medio del DANE y el mapa de índice de criminalidad local, con respecto a la accesibilidad se procedió a obtener la ruta de ingreso al punto de medición por medio del software Google Street View, además, utilizando la misma herramienta se reconoció si existía la posible influencia de otras fuentes que puedan alterar los resultados del monitoreo atmosférico o la posibilidad de barreras que no permitan que se lleve a cabo con normalidad el procedimiento.

Como modelación previa para categorizar y describir los sitios seleccionados, se utilizan con aforos de estudios pasados en el tramo de vía para cuantificar la movilidad, la meteorología del año 2014 entregada por el EPA de las tres estaciones meteorológicas ubicadas en Cardique, el CAI de Olaya sector foco rojo y la base naval de Bocagrande, las medidas geométricas otorgadas por el software Google Earth y los factores de emisión utilizados en estudios de contaminación para describir el peor escenario posible.

Meteorología

La meteorología se encontró en un estado virgen es, decir sin modificar, el procedimiento para el análisis de las variables entregadas de precipitación, velocidad del viento, presión, dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar dadas cada 5 minutos de las tres estaciones meteorológicas en el año 2014 de la ciudad de Cartagena, da un total de 105.120 datos por variable por estación.



```

POLICIA METEOROLOGIA .log: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Rainfall
windspeed
Pressure
Direction
Air Temperature
Humidity
Solarimeter
01/01/14, 00:00:00, 0, 1.68245, 1009.01, 11.8964, 28.3424, 74.8401, 0.871103
01/01/14, 00:05:00, 0, 4.37437, 1009.12, 22.9051, 28.3017, 74.866, 1.4082
01/01/14, 00:10:00, 0, 2.65316, 1009.29, 58.6481, 28.1667, 75.4757, 2.29633
01/01/14, 00:15:00, 0, 2.9379, 1009.41, 34.4551, 27.9093, 75.46, 2.09967
01/01/14, 00:20:00, 0, 3.49481, 1009.42, 51.0271, 27.8395, 76.0973, 1.69579
01/01/14, 00:25:00, 0, 2.55802, 1009.44, 39.5053, 27.6967, 76.5397, 1.71693
01/01/14, 00:30:00, 0, 2.18552, 1009.5, 28.8803, 27.5645, 77.2118, 1.67464
01/01/14, 00:35:00, 0, 1.48923, 1009.45, 41.9597, 27.5764, 77.4674, 1.83323
01/01/14, 00:40:00, 0, 2.62786, 1009.49, 36.6568, 27.5494, 77.6955, 2.83554
01/01/14, 00:45:00, 0, 3.15791, 1009.72, 65.7489, 27.2842, 78.3163, 2.00663
01/01/14, 00:50:00, 0, 1.94139, 1009.89, 37.0816, 27.266, 78.5468, 2.06372
01/01/14, 00:55:00, 0, 1.80893, 1009.78, 66.9211, 27.2272, 78.8325, 1.83112
01/01/14, 01:00:00, 0, 1.98017, 1009.97, 58.5097, 27.204, 79.0957, 1.6535
01/01/14, 01:05:00, 0, 2.006, 1010.1, 50.4464, 27.1265, 79.2899, 1.76134
01/01/14, 01:10:00, 0, 0.957168, 1010.19, 50.4204, 27.1848, 79.2293, 1.33208
01/01/14, 01:15:00, 0, 1.83667, 1010.23, 34.3832, 27.0506, 79.5238, 1.6683
01/01/14, 01:20:00, 0, 1.43747, 1009.99, 49.9236, 26.9384, 79.9181, 1.63869
01/01/14, 01:25:00, 0, 1.26611, 1010.22, 62.5124, 26.9058, 79.9049, 1.45261
01/01/14, 01:30:00, 0, 1.86253, 1010.33, 35.9159, 26.8481, 80.1358, 2.0024
01/01/14, 01:35:00, 0, 0.414409, 1010.39, 54.9376, 26.7149, 80.5187, 1.51393
01/01/14, 01:40:00, 0, 1.56326, 1010.35, 70.4361, 26.7694, 80.1374, 1.6683
01/01/14, 01:45:00, 0, 1.61506, 1010.17, 63.971, 26.7058, 80.5552, 1.72539
01/01/14, 01:50:00, 0, 1.60582, 1010.21, 49.4145, 26.6793, 80.5861, 1.65984

```

Se inició el análisis con un procesamiento primario de la información ordenando los datos para obtener un valor por hora, siendo un promedio por hora para las variables de precipitación, presión, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Para la dirección del viento se tiene en cuenta que como representa un vector, se descompone en sus ejes “x” y “y”, se realizó el promedio por hora de sus magnitudes y se determinó el vector resultante por hora para generar como resultado la velocidad del viento por hora, siendo un total de 8760 datos por variables por estación.

Se llevaron a cabo los siguientes pasos:

-Se convirtieron los datos del block de notas al Excel

-Se utilizó el asistente para importar el texto (clic derecho asistente para importar texto paso 1 de 3/ delimitando espacio/general)

-Se convirtieron los datos de texto a número reemplazando las comas por espacios. (Control B reemplazar, por espacio y reemplazarlo todo)

-Se clasificó la información por meses, horas e índice con la finalidad de identificar la información faltante, para ello se completó la información con los datos del mes anterior. Los números que indican que no hay información faltante son los números -1 y 23. El índice se halla la hora donde se está hallando el índice menos la hora de la fila siguiente.

-Se complementaron los datos faltantes con los datos anteriores a esos datos.

-Se promediaron los datos teniendo en cuenta que en una hora tendríamos 12 datos con una frecuencia de 5 minutos

-Se estimaron los componentes vectoriales de la dirección del viento (V_x y V_y) para los datos suministrados por cada estación meteorológica, teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$V_x = \text{Velocidad} \cos(\text{Radianes}(90 - \text{dirección}))$

$V_y = \text{Velocidad} \sin(\text{Radianes}(90 - \text{dirección}))$

- Posteriormente se hallaron los promedios de los 12 datos (V_x y V_y) para tener estos valores por hora requeridos para la modelación.

Para calcular el promedio de la dirección del viento se recomienda utilizar el siguiente algoritmo:

-Se calculan las componentes de la velocidad del viento v_x y v_y por medio de las ecuaciones:

Ecuación 1.

$$\bar{v}_x = \frac{\sum_i^n \left[v_i \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - WD\right) \right]}{n}$$

Ecuación 2.

$$\bar{v}_y = \frac{\sum_i^n \left[v_i \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - WD\right) \right]}{n}$$

Dónde:

v_i = Lectura de velocidad instantánea

WD = Dirección del viento instantánea

n = Número de datos por hora

-Se halló DV (ángulo) o WD teniendo en cuenta los valores promediados de “ V_x ” y “ V_y ”.

Finalmente se obtiene el valor horario de la dirección del viento por medio de la ecuación siguiente:

Ecuación 3.

$$WD = \begin{cases} 90 - \tan^{-1}\left(\frac{\bar{v}_x}{\bar{v}_y}\right) & \text{Si } 90 - \tan^{-1}\left(\frac{\bar{v}_x}{\bar{v}_y}\right) > 0 \\ 90 - \tan^{-1}\left(\frac{\bar{v}_x}{\bar{v}_y}\right) + 360 & \text{Si } 90 - \tan^{-1}\left(\frac{\bar{v}_x}{\bar{v}_y}\right) < 0 \end{cases}$$

-Se hallaron las desviaciones de los promedios de los 12 datos por hora de la velocidad y la dirección del viento utilizando la función DESVEST.

- se convirtió la temperatura de grado centígrados a grados kelvin.

-se estimó la resultante de la velocidad con la ecuación 4

Ecuación 4.
$$V = \sqrt{\bar{u}_x^2 + \bar{u}_y^2}$$

Se continúa con un procedimiento secundario para reconocer la altura de capa de mezcla en la zona de la meteorología, con las variables de temperatura, velocidad y dirección del viento, la radiación solar y las desviaciones de la velocidad y la dirección del viento, con un resultado de 8760 datos para esta variable por cada estación.

Las actividades fueron realizadas en otra hoja de cálculo con la finalidad de identificar estas etapas:

-Se introdujeron los datos del procesamiento primario: Año, mes, día, hora, temperatura, velocidad, dirección del viento, y desviaciones de velocidad y dirección del viento, cabe resaltar que los datos de temperatura suministrados fueron convertidos de grados centígrados a grados kelvin.

-Se introdujo la ecuación de Montecarlo en una hoja aparte debido a la iteración de la ecuación para luego establecer en el procesamiento secundario solo los valores numéricos (solo valores).

-Luego se tomó como valor de dirección los datos corregidos por la ecuación de Montecarlo.

-Se utiliza el algoritmo de Montecarlo con el fin de ajustar el valor de la dirección del viento entre los valores registrados por la estación meteorológica (la cual reporta valores de dirección con una resolución de 22.5°) utilizando la ecuación siguiente:

Ecuación 5.
$$WD^* = WD + 22.5 \cdot Na - 11.25$$

Dónde:

WD* = Dirección del viento corregida

WD = Dirección del viento calculada

Na = Número aleatorio entre 0 y 1

- luego de estimar el valor WD o Montecarlo en la columna denominada dirección. Se ejecutó una macro de Excel (Vista/Macro/ Ver macro/ modificar) colocando como número total de filas como el número de datos con los que se cuenta. Se colocó el valor inicial como la celda inicial hasta el último valor.

- se deja el valor de la nubosidad como 0.5

-Se halla la altura de la capa de mezcla haciendo la distinción entre la altura mecánica y la convectiva dependiendo del proceso incidente (viento o térmico) para ello se efectuó una macro y un proceso aleatorio.

- El valor de la altura de la capa de mezcla se obtiene de la hoja de cálculo denominada surface.

Construyen rosas de vientos anuales para cada estación meteorológica utilizando el software WRPLOT con los siguientes pasos:

-Se seleccionaron y copiaron los datos del block de notas, se pegaron en Excel y se identificaron las columnas con sus respectivos nombres.

-Se discrimino la información dejando solo la dirección y la velocidad del viento.

-Se cambió el formato de la fecha solo se colocó el número del día para cada uno de los datos suministrados colocando un numero entero.

-Se calculó el promedio horario de la velocidad y dirección del viento; para ello se seleccionó todo el mes luego se utilizó la herramienta de Excel subtotales en el cual se

estableció que para cada cambio en hora se procedió a usar función promedio agregando así un subtotal del viento y la dirección del viento.

-Luego que se insertaron los promedios, se seleccionaron y se copiaron estos valores a excepción del valor general dado, como los datos están en una forma subtotal se utilizó la herramienta buscar/ir a especial/ solo celdas visibles y después se procedió a copiar los valores luego de haber realizado el filtro.

-Posteriormente se insertaron las casillas año, mes y día, se cambió el nombre de promedio por hora colocando los valores de 0 a 23.

-Luego se colocaron los días de 0 a 23 el mes y el año correspondiente.

-Posteriormente se eliminaron los títulos porque el programa no lee las letras.

-Luego se inserta el código de la estación 1.

-Se elimina la primera hoja dejando solo donde se realizaron los cambios con el promedio.

-El archivo se guardó en formato libro de Excel 97-2013

-Para obtener las rosas de viento se descargó el programa en el link: [lakes environmental software wR plot](#).

-Por último se llenaron los datos para obtener un código de registro.

-Para el tools import from Excel, se seleccionó la carpeta e importó la hoja de Excel, antes de generar las rosas de vientos y los gráficos de frecuencia se nombraron las variables y se notificaron cada columna como se encontraban en Excel.

-Se colocaron en unit en Excel file del 0 al 23.

-Se colocaron los datos o características de la estación, se ingresaron valores de la latitud y longitud de la ciudad incluyendo los datos de la zona horaria para obtener un archivo de .zam Para Cartagena state co, 10°N en latitud. 75° E longitud

-Luego se presiona import, se guarda con una extensión .Sam.

-Por último se add file tipo de archivo. Sam

-Se visualiza la rosa de viento en la pestaña wind rose. Se puede visualizar la gráfica hacia dónde va y hacia dónde viene.

Realizamos el procedimiento para crear el block de notas de las condiciones meteorológicas y poder ingresarla al CALINE3.

-Para pegar más fácil los valores en el block de notas de la meteorología y que coincidan los espacios se construyó un archivo de Excel con las columnas que tenga los espacios precisos y luego guardar el archivo de Excel como .prn, con esto se puede abrir en block de notas donde se habrán mantenido los espacios

-Se deben ingresar los valores de velocidad y dirección teniendo en cuenta que no sobrepasen a 360° y no sean negativos, establecer la estabilidad (como la hoja de Excel esta filtrada se colocan los rangos para poder establecer la estabilidad atmosférica), se coloca la altura de capa de mezcla valor obtenido del procesamiento secundario, la cual será la altura de capa de mezcla a ingresar en CALINE3 para cada hora, y por último se coloca la concentración del ambiente que en este caso es igual a cero.

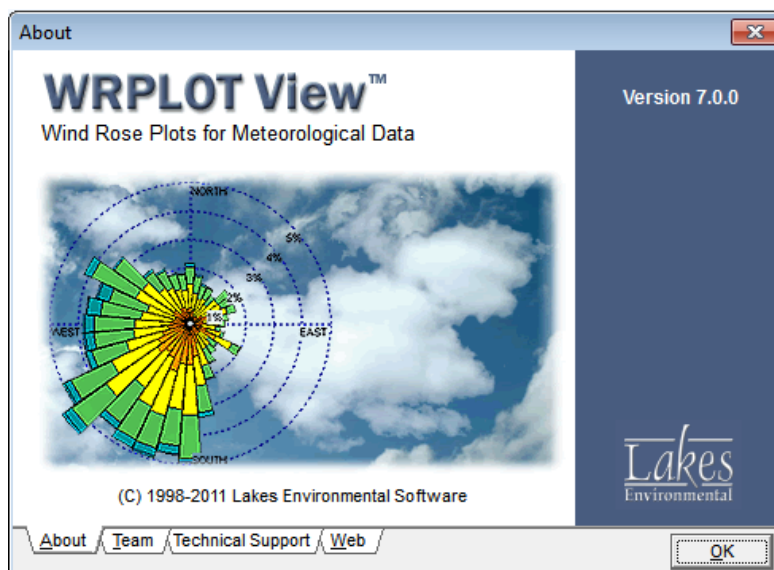
METODOLOGIA DETALLADA CREACION DE ROSAS DE VIENTO UTILIZANDO EL SOFWARE WRPLOT

La Rosa de los vientos es un diagrama de coordenadas polares que representa la frecuencia con que soplan los vientos de cada dirección.

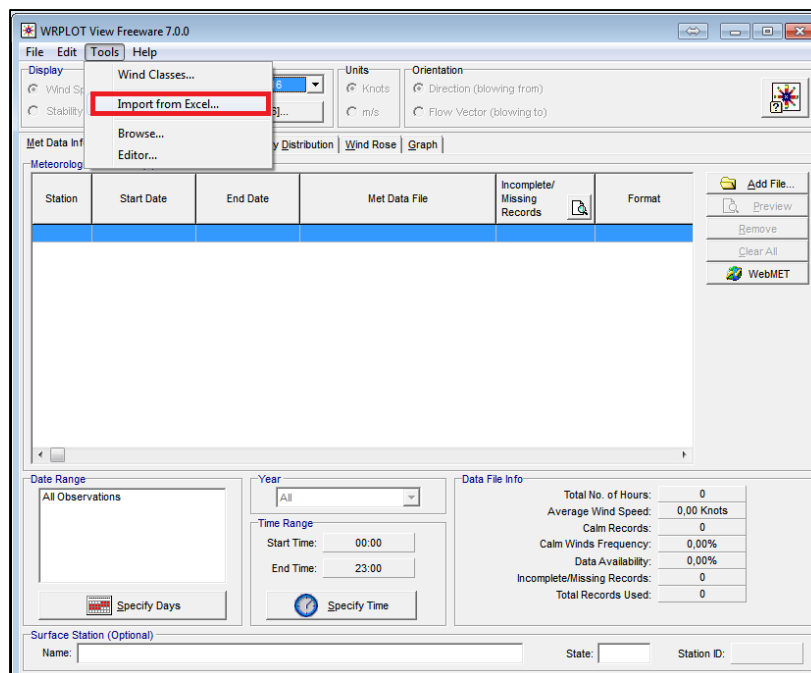
Para el presente estudio se realizaron rosas de viento tomando como base información meteorológica de estaciones situadas en la ciudad de Cartagena, operadas por entes ambientales del distrito.

Las rosas de viento fueron realizadas mediante el uso del software WRPLOT. Este puede importar datos meteorológicos presentes en hojas de cálculo de la siguiente manera:

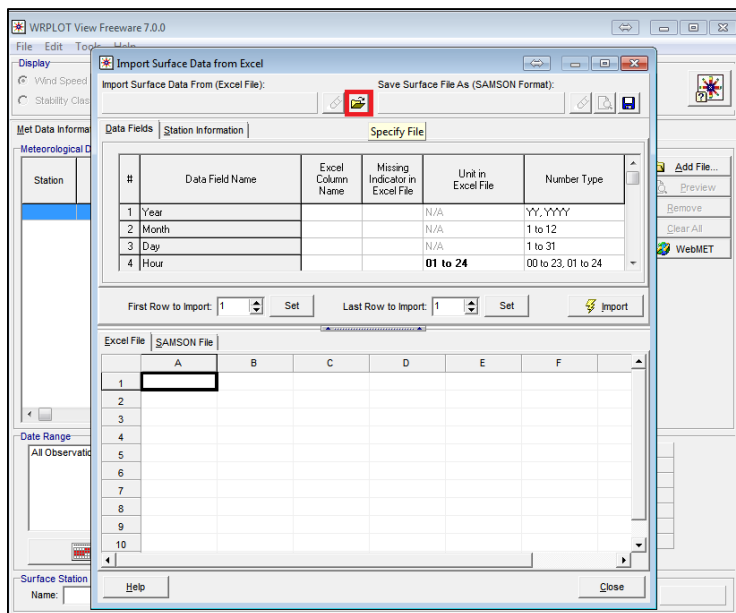
- Iniciar el programa WRPLOT.



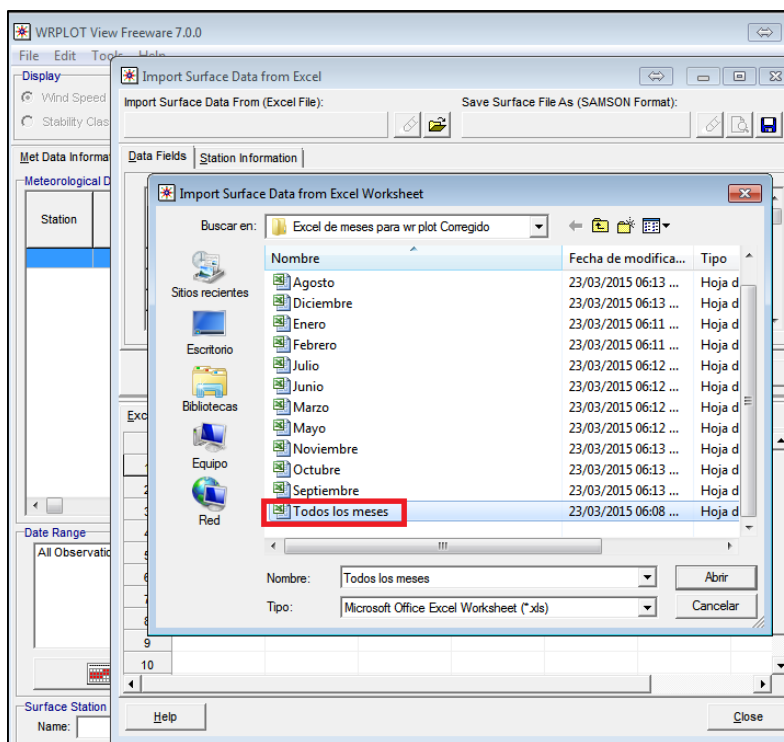
- Importar Excel.



- Para importar el Excel dar clic en el ícono de la carpeta.



- Ejemplo de Hoja de cálculo típica para realizar rosas de viento con este software.



INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Año	Mes	Día	Hora	Dir viento	Veloc viento	
2	1	2014	1	1	0	33,32393637	4,011434532
3	1	2014	1	1	1	44,10003973	4,89574609
4	1	2014	1	1	2	36,16105717	4,588166758
5	1	2014	1	1	3	46,93123506	4,390440651
6	1	2014	1	1	4	37,78213372	3,987524366
7	1	2014	1	1	5	35,89300879	2,125764484
8	1	2014	1	1	6	51,75782624	1,26889001
9	1	2014	1	1	7	48,57460496	1,186056214
10	1	2014	1	1	8	17,08878082	1,087957831
11	1	2014	1	1	9	45,23093605	0,902878784
12	1	2014	1	1	10	40,14839586	0,976232464
13	1	2014	1	1	11	46,48327845	1,274783186
14	1	2014	1	1	12	49,89086286	1,439299721
15	1	2014	1	1	13	63,04091978	1,683033254
16	1	2014	1	1	14	46,78702568	2,04324395
17	1	2014	1	1	15	32,12332188	1,945769228
18	1	2014	1	1	16	270	1,1462772
19	1	2014	1	1	17	270	1,56523059

- Ingresar datos de la estación.

WRPLOT View Freeware 7.0.0

Import Surface Data from Excel

Import Surface Data From (Excel File): G:\...Todos los meses.xls

Save Surface File As (SAMSON Format): G:\...Todos los meses.sam

Data Fields: **Station Information**

Station ID: 1 City: CARTAGENA State: CO

Latitude: 10,0° Longitude: 75,0° Time Zone: UTC-5 (Eastern)

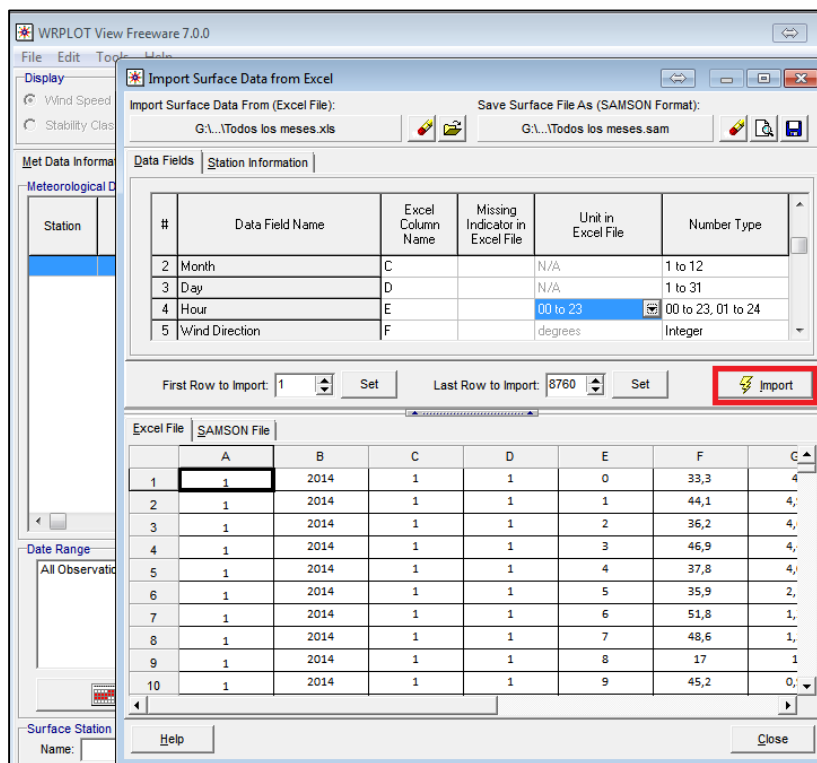
Station Elevation (MSL) [m]: 0 (Optional)

First Row to Import: 1 Last Row to Import: 8760

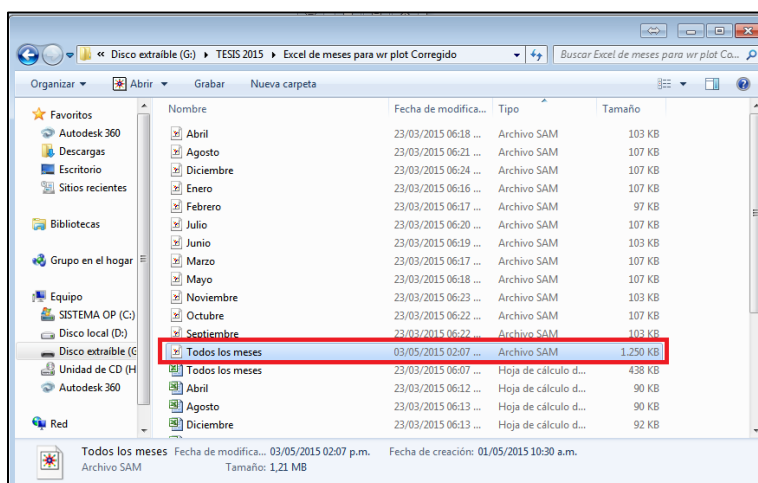
Excel File | SAMSON File

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	2014	1	1	0	33,3	4
2	1	2014	1	1	1	44,1	4
3	1	2014	1	1	2	36,2	4
4	1	2014	1	1	3	46,9	4
5	1	2014	1	1	4	37,8	4
6	1	2014	1	1	5	35,9	2
7	1	2014	1	1	6	51,8	1
8	1	2014	1	1	7	48,6	1
9	1	2014	1	1	8	17	1
10	1	2014	1	1	9	45,2	0

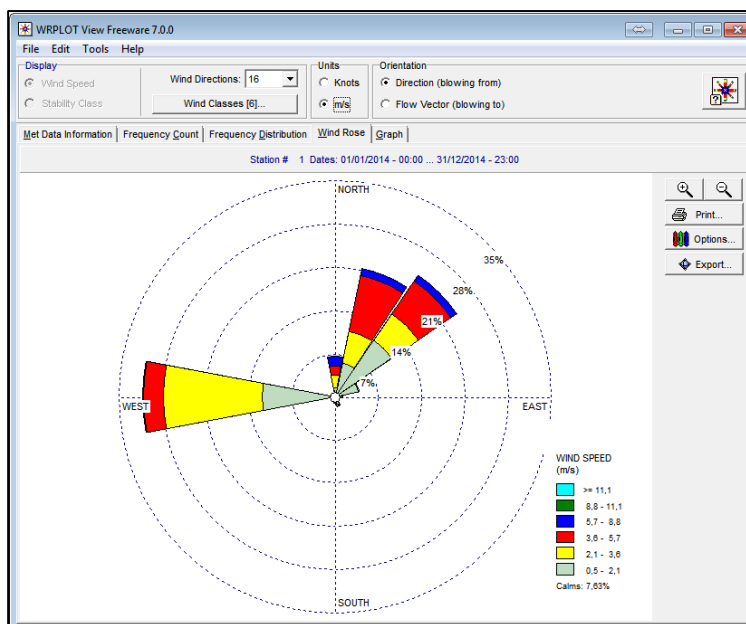
- Colocar cada letra en su respectiva columna y cambiar hora a 00-23. Luego presionar el botón import.



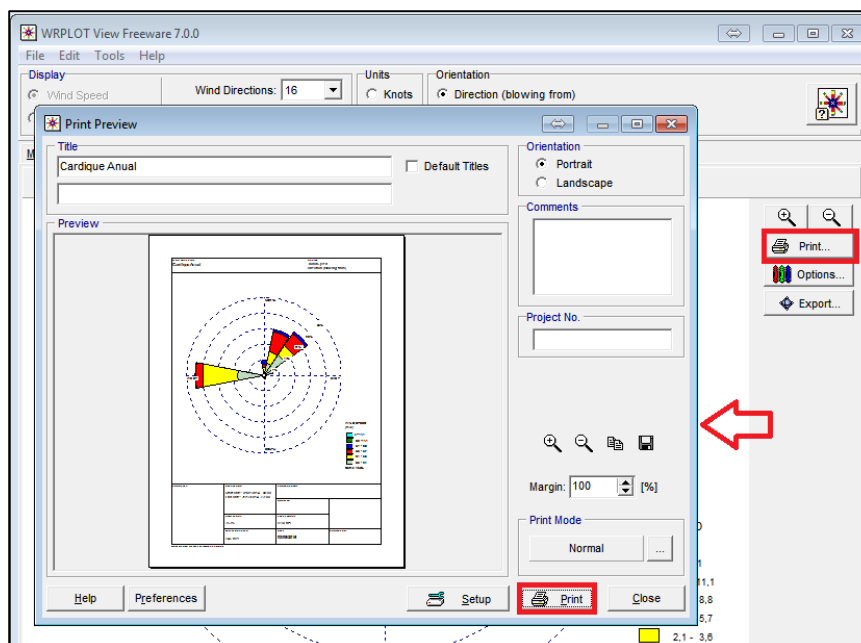
- Al presionar import se genera una archivo .SAM, ese es el formato de salida de WRPLOT.

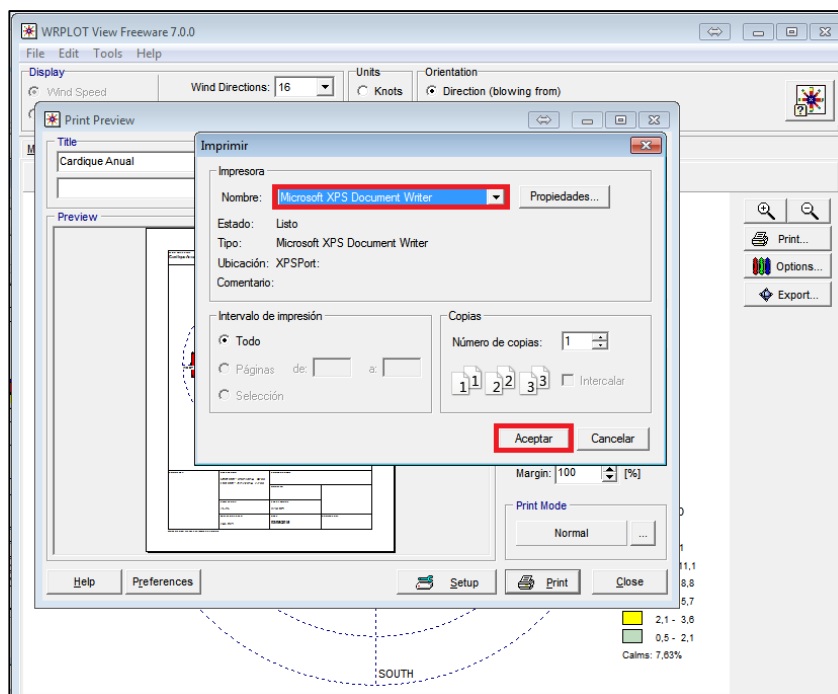


- Al Abrir el archivo .SAM se despliega la siguiente ventana, con toda la información de nuestra rosa de viento.

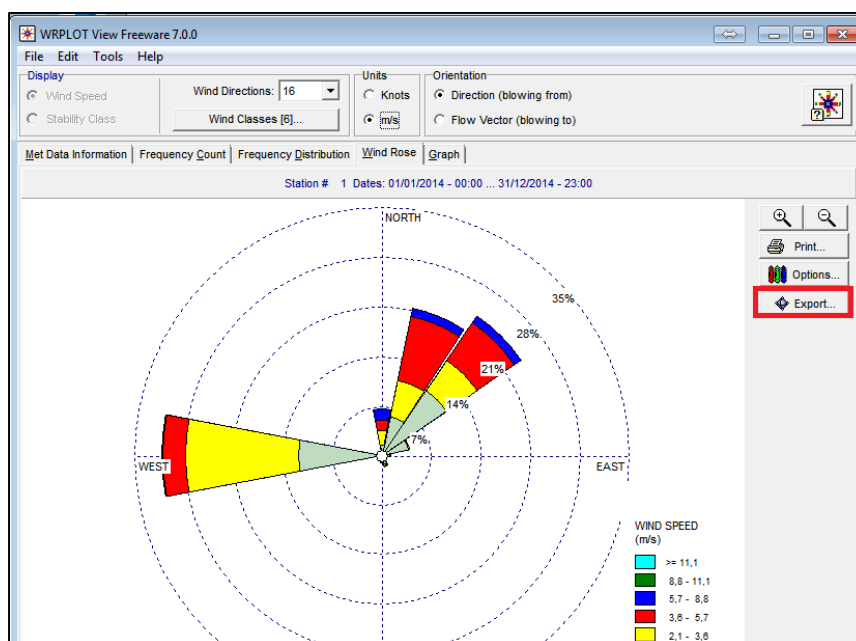


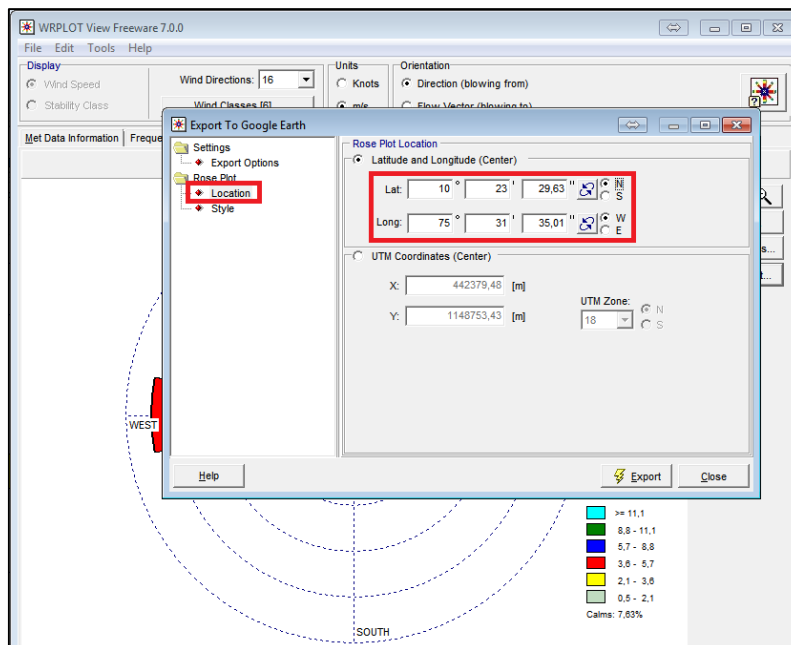
- Esto se puede imprimir o guardar en archivo XPS.



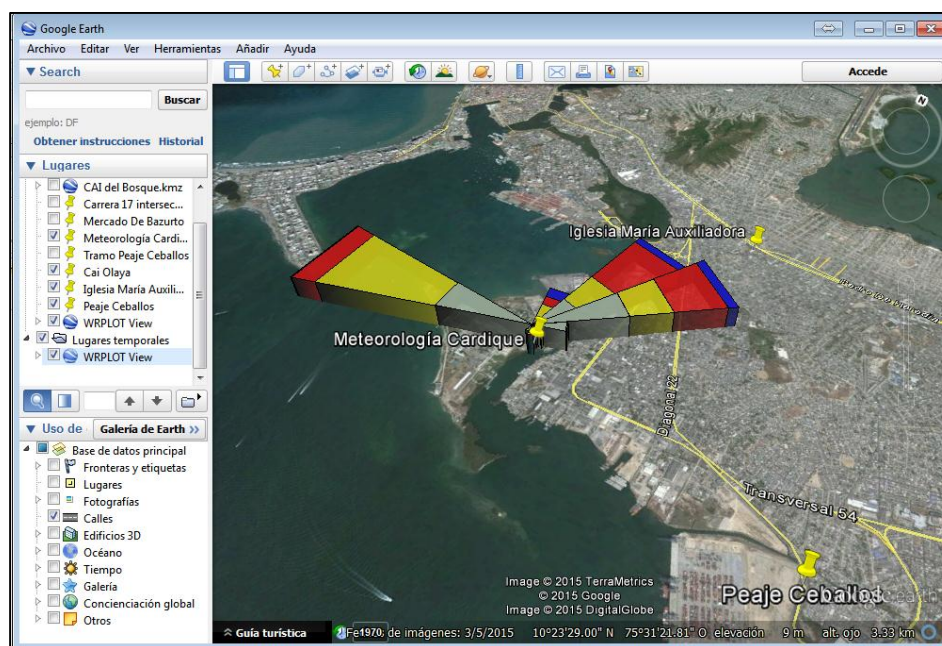


- También se puede exportar la rosa de viento al programa google earth, presionando el botón export y configurando las coordenadas correspondientes a nuestra estación meteorológica.





- Al exportar a google earth se observará de la siguiente forma.



Para el presente proyecto, se realizaron un total de 3 rosas de viento de carácter anual con los datos de las estaciones del EPA ubicadas en Cardique, Base naval y Olaya. Sintetizando de esta manera 8760 datos meteorológicos horarios por cada estación.

5.1.2.1. CALINE3

CALINE3 tiene que ser ejecutado con los espacios precisos que el designa por cada variable

Para realizar la conversión a archivo de texto, es decir pasar el archivo de Excel denominado espacio:

1. Se verifica que en cada casilla no hayan ###, ajustando el número de decimales al tamaño de la casilla
2. Seleccionamos “guardar como” y se escoge en tipo de formato: Delimitado por espacios (.prn)
3. Luego de guardar, saldrán en varias ocasiones ventanas preguntando detalles, siempre dar aceptar.
4. Luego se va al lugar donde se guardó el archivo y le cambias la extensión .prn por .txt, con esto ya podrás ver el archivo en formato .txt con los espacios correctos

Procedimiento para correr el programa caline 3:

- Descargar de la página de la EPA el programa se llama SCRAM, se guarda en equipo/C, se descarga el que dice model code.
- Ejecutamos Símbolo del sistema, como se describe en los ANEXOS 1
- Buscamos la ruta del software CALINE 3 en el disco duro. (ANEXOS 1)
- Luego se debe citar al ejecutable y ordenar, que guarde lo que genere en un archivo .log (ANEXOS 1)
- Insertamos block de notas con los datos de modelación, meteorología y geometría del lugar.

INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE.

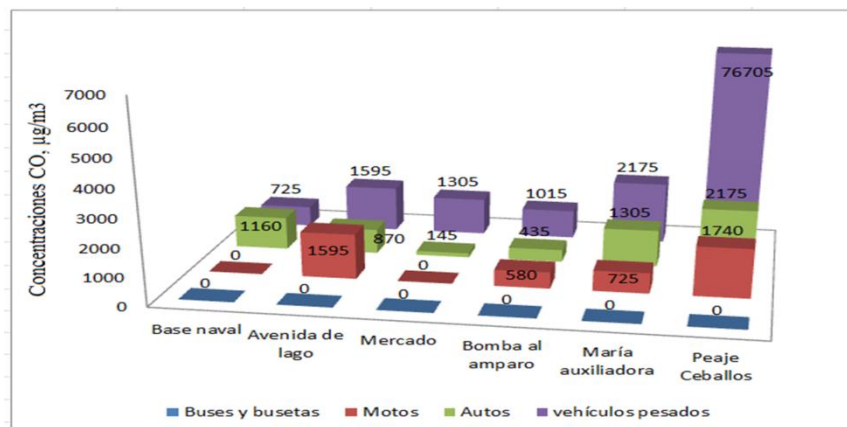
-Al darle enter, el programa corre automáticamente generándose el block de salida con las concentraciones de los vehículos por hora, este archivo se encuentra en la carpeta del ejecutable.

```

CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION
JOB: Peajeceba RUN: Corridal
I. SITE VARIABLES
U = 4.0 M/S CLAS = 2 (B) VS = 0.0 CM/S ATM = 60. MINUTES MIXH = 649. M
BRG = 33. DEGREES Z0 = 200. CM VD = 0.0 CM/S AMB = 0.0 PPM
II. LINK VARIABLES
LINK DESCRIPTION * LINK COORDINATES (M) * LINK LENGTH LINK BRG TYPE VPH EF H W
= X1 Y1 X2 Y2 = (M) (DEG) (G/M) (M) (M)
A. LINK1 * ***** * 27. 276. AG 277. 850.0 0.0 10.0
B. LINK2 * ***** * 236. 243. AG 277. 850.0 0.0 10.0
C. LINK3 * ***** * 283. 244. AG 277. 850.0 0.0 10.0
D. LINK4 * ***** * 330. 244. AG 277. 850.0 0.0 10.0
E. LINK5 * ***** * 377. 244. AG 277. 850.0 0.0 10.0
F. LINK6 * ***** * 428. 243. AG 277. 850.0 0.0 10.0
III. RECEPTOR LOCATIONS AND MODEL RESULTS
RECEPTOR * COORDINATES (M) * TOTAL * CO/LINK
= X Y Z = (PPM) = A B C D E F
1. Receptorcb1 * ***** 0.0 = 6.1 * 0.0 0.3 4.0 0.9 0.3 0.4
2. Receptorcb2 * ***** 0.0 = 4.2 * 0.0 0.2 1.5 1.4 0.5 0.4
3. Receptorcb3 * ***** 0.0 = 4.1 * 0.0 0.1 0.2 2.0 1.3 0.6
4. Receptorcb4 * ***** 0.0 = 3.8 * 0.0 0.1 0.2 1.3 1.3 0.7
5. Receptorcb5 * ***** 0.0 = 1.6 * 0.1 0.3 0.4 0.3 0.3 0.2
6. Receptorcb6 * ***** 0.0 = 1.4 * 0.1 0.3 0.3 0.3 0.2 0.2
CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION
JOB: Peajeceba RUN: Corridal
    
```

Con esto se determinan 8760 datos por modelación, que indican la concentración del contaminante por vehículo en el tramo de vía modelado como lo demuestra el grafico 3.

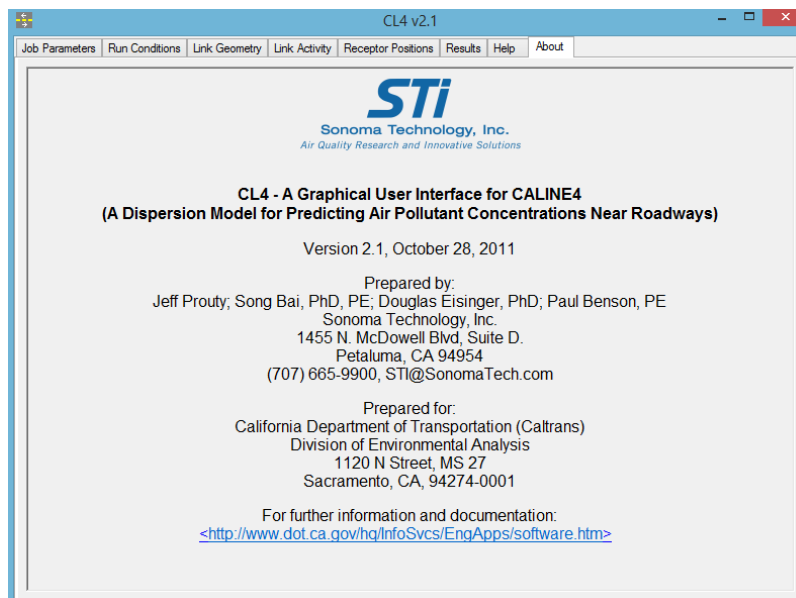
Grafico 3. Concentraciones del contaminante CO anual en cada uno de los escenarios por cada tipo de vehículo.



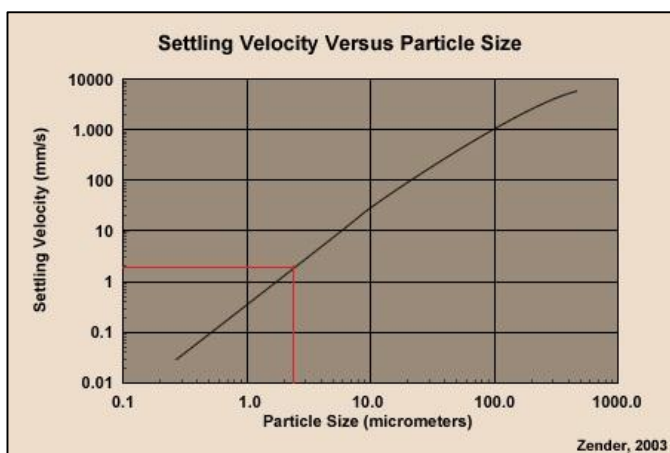
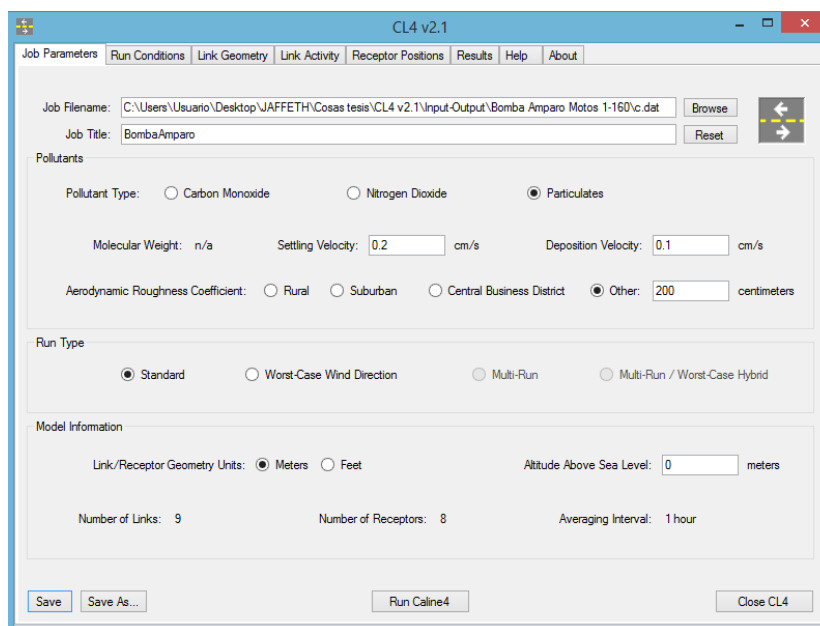
Fuente: Autores

CALINE4

Este software se considera una actualización de CALINE3, en esta versión podemos observar su interfaz como cualquier otro programa común de Windows, siendo esta una de sus principales diferencias con respecto a la interfaz en el símbolo del sistema de sus predecesor.



Pantalla de inicio CALINE4, se coloca el nombre y título de la modelación, se procede a seleccionar el contaminante, en nuestro caso partículas (particulates). Se coloca la velocidad de dispersion (settling velocity) y velocidad de depositacion (deposition velocity). Estas se pueden hallar utilizando los gráficos que se muestran en la parte inferior.



(Comet Program, 2012)

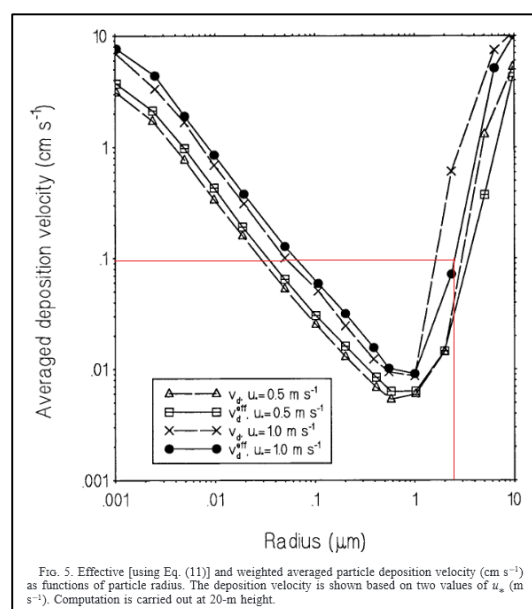


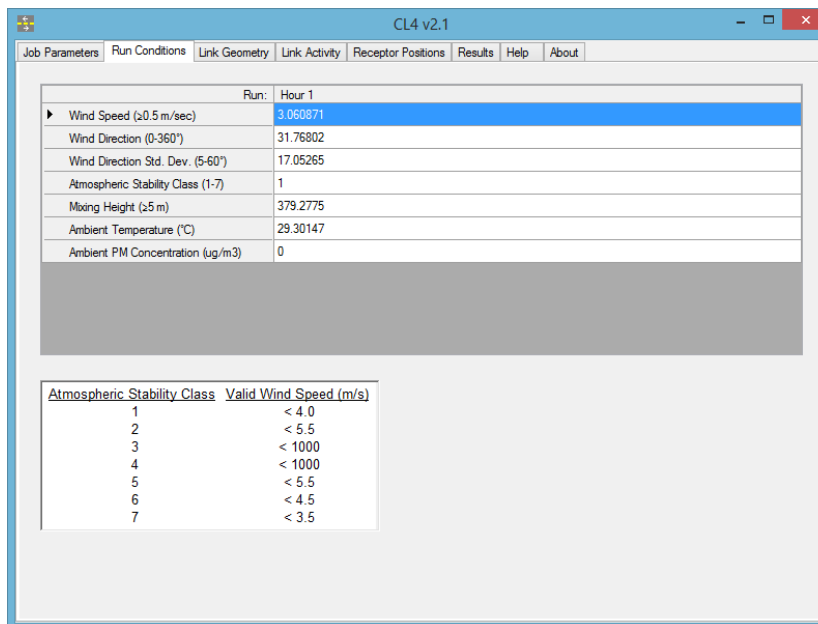
FIG. 5. Effective [using Eq. (11)] and weighted averaged particle deposition velocity (cm s^{-1}) as functions of particle radius. The deposition velocity is shown based on two values of u_w (m s^{-1}). Computation is carried out at 20-m height.

El coeficiente de rugosidad se obtiene mediante la siguiente tabla presente en el manual de CALINE4. En nuestro caso es de 200cm por ser un tipo de paisaje ciudad.

Roughness Coefficient (cm)	Landscape Type
.002	Sea, paved areas, snow-covered flat plain, tide flat, smooth desert
.5	Beaches, pack ice, morass, snow-covered fields
3	Grass prairie or farm fields, tundra, airports, heather
10	Cultivated areas with low crops and occasional obstacles (such as bushes)
25	High crops, crops with varied height, scattered obstacles (such as trees or hedgerows), vineyards
50	Mixed far fields and forest clumps, orchards, scattered buildings
100	Regular coverage with large obstacles, open spaces roughly equal to obstacle heights, suburban houses, villages, mature forests
≥ 200	Centers of large towns or cities, irregular forests with scattered clearings.

Source: Stull, R.B. Meteorology Today for Scientists and Engineers, St. Paul, Minnesota: West Publishing Company, 1995.

En la pestaña Run conditions se ingresan los parámetros meteorológicos para el modelo.



En la pestaña Link Geometry se ingresa las coordenadas UTM cuya función es describir geoméricamente la vía en cuestión.

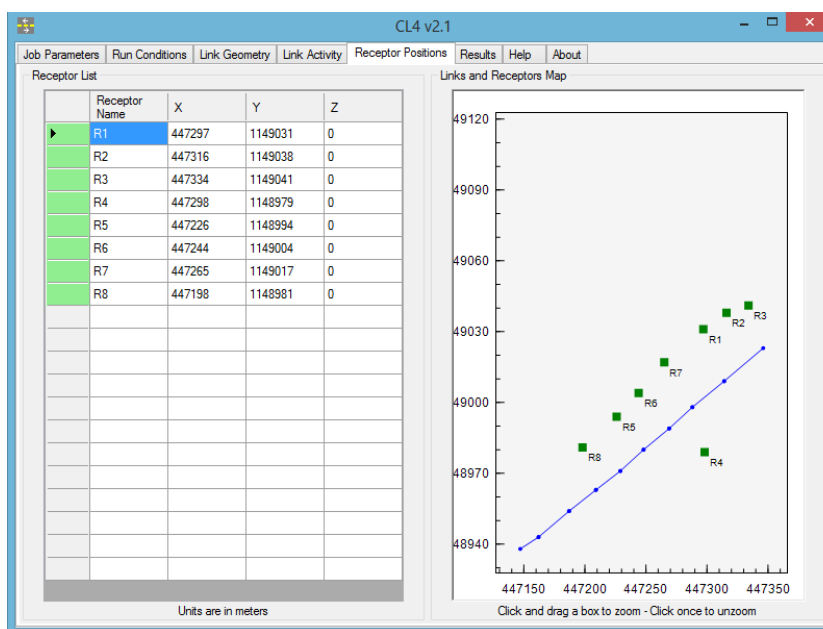
Link Description	Link Type	X1	Y1	X2	Y2	Link Height	Mixing Zone Width	Canyon/Bluff Mix Left	Canyon/Bluff Mix Right
L1	At-Grade	447346	1149023	447314	1149009	0	15	0	0
L2	At-Grade	447314	1149009	447288	1148998	0	15	0	0
L3	At-Grade	447288	1148998	447269	1148989	0	15	0	0
L4	At-Grade	447269	1148989	447248	1148980	0	15	0	0
L5	At-Grade	447248	1148980	447229	1148971	0	15	0	0
L6	At-Grade	447229	1148971	447209	1148963	0	15	0	0
L7	At-Grade	447209	1148963	447187	1148954	0	15	0	0
L8	At-Grade	447187	1148954	447162	1148943	0	15	0	0
L9	At-Grade	447162	1148943	447147	1148938	0	15	0	0

Units are in meters

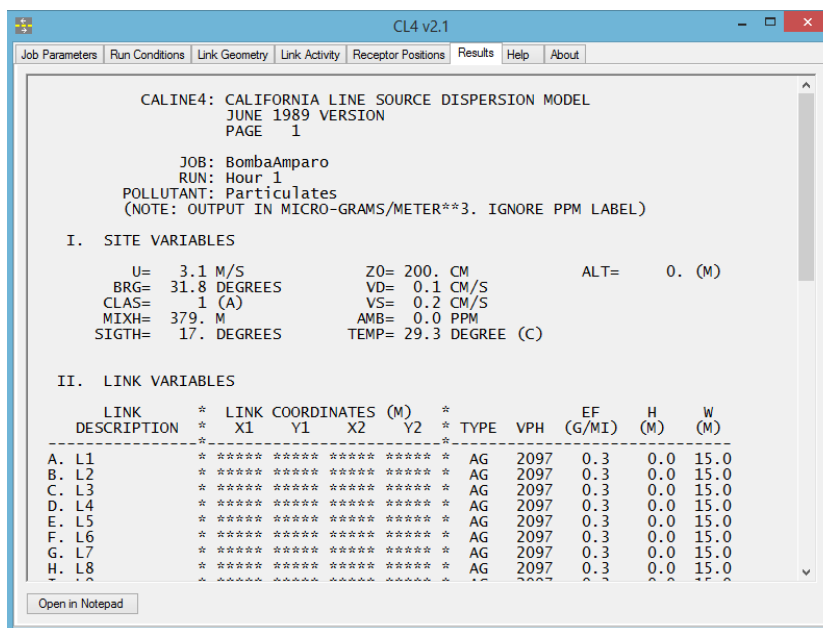
En la pestaña Link Activity se ingresa el volumen vehicular y el factor de emisión para cada uno de los tramos de la vía.

Link Desc. \ Run:	Traffic Volume (vph) Hour 1	PM Emiss. Factor (g/mi) Hour 1
L1	2097	0.34
L2	2097	0.34
L3	2097	0.34
L4	2097	0.34
L5	2097	0.34
L6	2097	0.34
L7	2097	0.34
L8	2097	0.34
L9	2097	0.34

En esta pestaña se ingresa la posición espacial de los receptores, encargados de mostrar en los resultados las diferentes concentración puntuales para poder conocer el lugar más crítico en la modelación.



Ventana de resultados, muestra resumen de todos los datos ingresados.



En la parte inferior de la ventana de resultados se puede observar las concentraciones de los contaminantes, en nuestro caso la concentración de partículas con diámetro menor a 2.5 micrómetros en $\mu\text{m}/\text{m}^3$.

CL4 v2.1

Job Parameters Run Conditions Link Geometry Link Activity Receptor Positions Results Help About

CALINE4: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL
JUNE 1989 VERSION
PAGE 2

JOB: BombaAmparo
RUN: Hour 1
POLLUTANT: Particulates
(NOTE: OUTPUT IN MICRO-GRAMS/METER**3. IGNORE PPM LABEL)

IV. MODEL RESULTS (PRED. CONC. INCLUDES AMB.)

RECEPTOR	* PRED * CONC * (PPM)	* A	* B	* C	* D	CONC/LINK (PPM) E	F	G	H	I
1. R1	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2. R2	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3. R3	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4. R4	* 8.0 *	3.9	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5. R5	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6. R6	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7. R7	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8. R8	* 0.0 *	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Open in Notepad

La escogencia de los tres lugares para el monitoreo se hace con el método de peso y escala, en la cual a cada variable se le dio un peso según la importancia para el trabajo de campo del estudio y después se multiplica por el número que se le asigna a cada sitio según el resultado independiente de cada variable.

De esta forma se describió cada uno de los seis sitios seleccionados de la primera fase y se escogieron tres de mayor influencia, los cuales en este caso son: Carretera De La Cordialidad-Bomba el Amparo (Ilustración 4), Av Pedro Heredia Sector María Auxiliadora (Ilustración 5) y el Corredor de carga-Ceballos (Ilustración 6) como se demuestra en el Grafico 3.

Ilustración 4. Carretera De La Cordialidad-Bomba el Amparo.



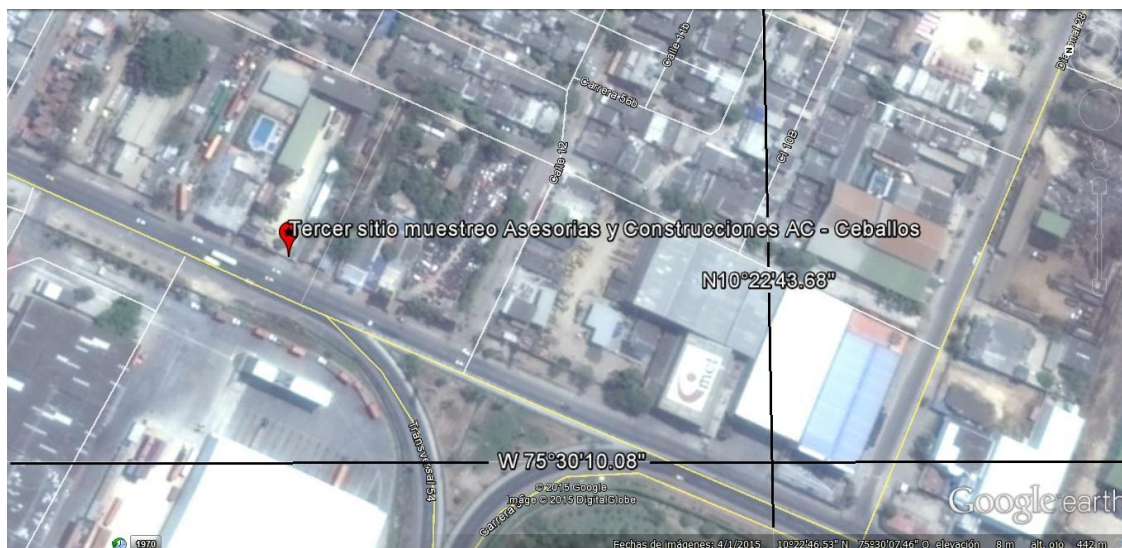
Fuente: Google Earth.

Ilustración 5. Av Pedro Heredia Sector María Auxiliadora.



Fuente: Google Earth.

Ilustración 6. Corredor de carga-Ceballos.



Fuente: Google Earth.

5.1.3. Tercera Fase: medición de CO y material particulado con instrumentos de campo

Se le realizó mantenimiento, transporte, puesta en sitio y calibración a los instrumentos de medición Modelo 48i Analizador de CO y modelo DataRam 4, en cada punto para monitoreo, y se continua con la ejecución y operación de estos en un periodo de treinta días en cada uno de los tres lugares. Se programaron los equipos analizadores de CO y $PM_{2.5}$ para medir concentraciones cada hora y cada 5 minutos respectivamente. Culminado el monitoreo en todos los sitios se procedió a desmontar, hacerles mantenimiento de los equipos y trasladarlos a los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena.

Se organizó toda la información extraída de los equipos en hojas de cálculo (Excel) para facilitar su análisis. Esta información está acorde con los aforos realizados en el tiempo que

los equipos estuvieron midiendo datos debido a que se extraían datos de los equipos en cada día de aforo.

Métodos de los analizadores.

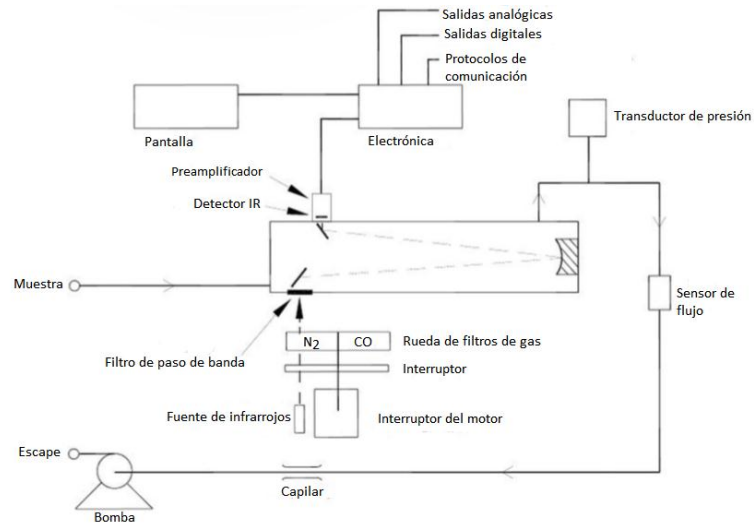
El Analizador de CO Modelo 48i de Thermo Scientific (ilustración 7), mide la concentración de CO usando un Filtrador de gas correlacionado (GFC). El Modelo 48i combina una tecnología de detección avanzada, un software del menú de manejo, fácil de usar y un diagnóstico avanzado para ofrecer la mayor flexibilidad y confiabilidad.

Ilustración 7. Modelo 48i Analizador de CO (Fotometría Infrarroja, IR).



El modelo 48i se basa en el principio de que el monóxido de carbono (CO) absorbe la radiación infrarroja con una longitud de onda de 4,6 micrómetros. Como la absorción de infrarrojos es una técnica de medición no lineal, los componentes electrónicos del instrumento tienen que transformar la señal básica del analizador en una salida lineal (Ilustración 8). El modelo 48i utiliza una curva de calibración exacta para linealizar de manera precisa la salida del instrumento en cualquier intervalo hasta una concentración de 10.000 ppm. (Thermo Scientific)

Ilustración 8. Esquema del principio de operación para un analizador de monóxido de carbono.



Fuente: (Thermo Scientific, 2006)

DataRAM 4 analizador de partículas.

Ilustración 9. modelo DataRam 4



El DataRAM 4 modelo DR-4000 de Thermo Scientific (Ilustración 9) es un instrumento tecnológicamente avanzado (encarna Patente de EE.UU. n° 6.055.052) diseñado para medir la concentración de partículas en el aire (líquido o sólido), así como el tamaño medio de las partículas, la temperatura del aire y la humedad, proporcionando lectura directa y continua así como la grabación electrónica de la información.

El DataRAM 4 es un monitor nefelométrico de dos longitudes de onda y alta sensibilidad con una configuración de detección de dispersión de luz optimizada para la medición de la fracción de partículas finas de polvo atmosférico, humos, vapores y emanaciones tóxicas de entornos ambientales, atmosféricos, industriales, de investigación y de interiores.

5.1.4. Cuarta Fase: concentración de CO y material particulado $PM_{2.5}$ por estimado de factores de emisión.

Se llevaron a cabo ocho aforos vehiculares en los sitios seleccionados para actualizar la información con respecto a la movilidad en los tramos de estudio, de los treinta que permanecen los equipos en cada uno de las tres zonas.

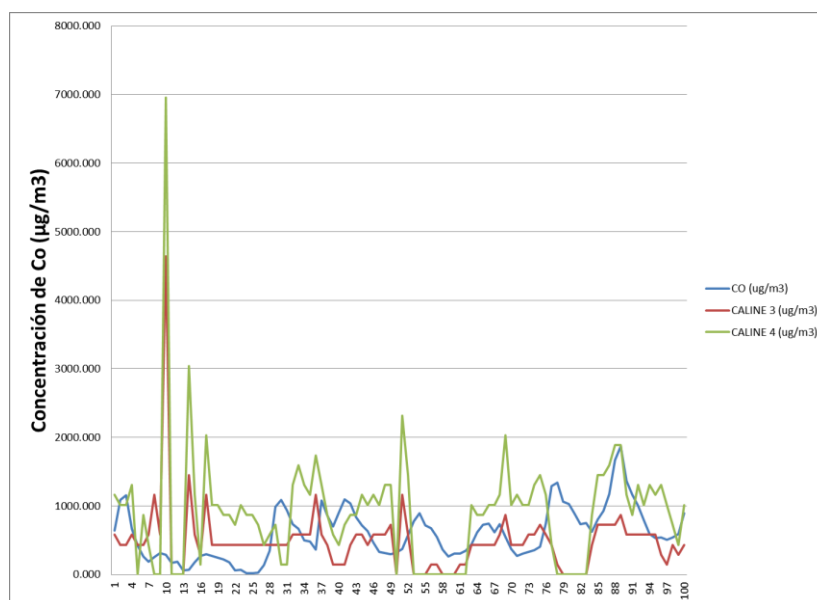
Se programaron los aforos de manera conveniente para realizar visitas técnicas a los equipos de monitoreo, y de esta forma evitar o corregir cualquier estado de alarma de los mismos. Estos se hicieron de forma manual, realizando conteo de vehículos cada 5 minutos en tres ciclos, de 8:00am a 10:00am, de 11:00am a 1:00pm y de 2:00pm a 4:00pm. Discriminando principalmente motos, automóviles, buses-busetas y vehículos pesados.

En los autos se contó, particulares, taxis, camionetas y van. En los buses y busetas se contaron los vehículos de las diferentes rutas presentes en las vías, además de los buses intermunicipales y de servicio especial. En los vehículos pesados se contó, camiones, ambulancias, vehículos que transportasen mercancía.

Se realizó una investigación de los estimados de factores de emisión que pueden ser utilizados para estudios de contaminación atmosférica en la ciudad de Cartagena con respecto al gas y el material particulado contaminante descrito; se escogió el más confiable y con el aforo vehicular realizado en esta fase, se calcularon las concentraciones de CO de estos elementos por medio de la técnica indirecta utilizando el software de modelación atmosférica CALINE3 y para las concentraciones de micro partículas de diámetro menores a 2.5 se utilizó CALINE4, se estableció un porcentaje de error tentativo debido a las múltiples incertidumbres e imprevistos que se desarrollaron en el trabajo de campo.

Se utilizó CALINE3 para modelaciones de CO debido a su rapidez y facilidad en el proceso de inclusión de datos y sus resultados son similares a los de CALINE4 y al campo, hecho evidenciado en el grafico 4. No se utilizó este mismo software para PM2.5, debido a que CALINE3 solo funciona para CO.

Grafico 4. Comparación de resultados de los Software de modelación ambiental CALINE3 y CALINE4 para CO.



Aunque ambos Contaminantes pueden ser modelados con CALINE4, al contar con poco tiempo se decidió aprovechar la rapidez de CALINE3 para CO y para PM_{2.5} la versión actual del mismo, además, este muestra en los resultados la misma unidad de concentración utilizada por el instrumento de campo DATARam4 (ug/m³), esto facilitó el análisis y comparación de los resultados.

5.1.5. Quinta Fase: calidad del aire en proyectos viales.

La calidad del aire por la influencia de concentración de contaminantes criterios CO y PM_{2.5} debido al flujo vehicular, se realizó en dos etapas. En la primera se comparó los resultados procesados de campo y modelaciones, de esta forma para cada sitio se confrontó las concentraciones medidas por DataRam 4 analizador de partículas con el software CALINE 4, y Modelo 48i analizador de monóxido de carbono con CALINE 3. También se contrastaron estos resultados con las norma vigente, resolución 610 de 2010.

Esta etapa, aportó a la investigación la incidencia del flujo vehicular total en la concentración de PM_{2.5} como un porcentaje, tomando como hecho que las concentraciones medidas en el campo sean a causa de fuentes tanto fijas como móviles y las concentraciones halladas en los modelos únicamente a causa de los vehículos automotores.

En la segunda etapa se analizó la incidencia del flujo vehicular por categoría en la concentración de CO y PM_{2.5}. Estas categorías son: Autos, Buses-Busetas, Vehículos pesados y Motos. Con la ayuda de los aforos manuales, se calcularon los promedios en las horas 8:00, 9:00, 11:00, 12:00, 14:00 y 15:00 de todo el mes en cada uno de los sitios. Igualmente se calculó las concentraciones promedio para esas horas medidas por los instrumentos de campo, para luego graficar y hallar el coeficiente de correlación de estas dos variables. De esta forma se pudo conocer qué categoría incidía más en la concentración de CO y PM_{2.5}.

Se determinó la incidencia del flujo vehicular que transita por estos lugares para el monóxido de carbono utilizando un rango de error en sus mediciones obtenidas en la tercera fase, para obtener un nivel de confiabilidad y de esta forma poder realizar la comparación.

Los porcentajes de error se analizaron teniendo en cuenta el análisis de sensibilidad mostrado en la tabla 8, se tomaron los parámetros que en nuestra opinión tienen más incertidumbre en el estudio, Factor de emisión 57.37%, Velocidad del viento 14.52% y Dirección del viento 81.92%, en promedio 51.27% de incertidumbre, para esta investigación se tomará como porcentaje de error.

Tabla 8. Sensibilidad de los parámetros de entrada de CALINE

Parameter	% changed	Parameter	% changed
Vehicle Volume	70.58	Temperature	5.04
Composite Emission Factor	57.37	Ambient Pollutant Concentration	12.63
Wind Speed	14.52	Distance of Receptor	17.32
Wind Direction	81.92	Height of Receptor	61.95

Fuente: (Fernández, CÁLCULO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR EL TRÁFICO RODADO MEDIANTE EL MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA CALINE 4, 2011)

También se realizaron las recomendaciones del Método Directo e Indirecto para estudios de impacto ambiental con respecto a la calidad del aire en los proyectos viales.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la investigación y se analizaron las variables propuestas en el alcance, donde el resultado de cada fase representa un producto para continuar con la investigación para cumplir satisfactoriamente todos los objetivos propuestos en el proyecto.

6.1. Primera Fase: Selección de sitios para el estudio.

En la búsqueda de antecedentes y estados del arte se halló información referente a calidad del aire. En investigaciones pasadas se usaron los factores de emisión mostrados en la tabla 9. Seleccionamos estos valores para nuestras modelaciones previas:

Tabla 9. Factores de emisión seleccionados para modelación previa.

Factor de Emisión (g/milla)	Autos	Buses	Motos	Veh Pesados
PM 2.5	0.02	10	0.33	5
CO	20	4	18	850

A continuación se muestra una lista de sitios candidatos para realizar la presente investigación:

- Avenida el Lago
- Avenida Pedro De Heredia Sector Mercado
- Avenida Pedro De Heredia Sector María Auxiliadora
- Corredor de carga – Ceballos
- Carretera La Cordialidad – Bomba el Amparo
- Avenida San Martín – Base Naval

- Carretera La Cordialidad – Bomba el Amparo (Meteorología Olaya)
- Av San Martín – Base Naval (Meteorología Base Naval)

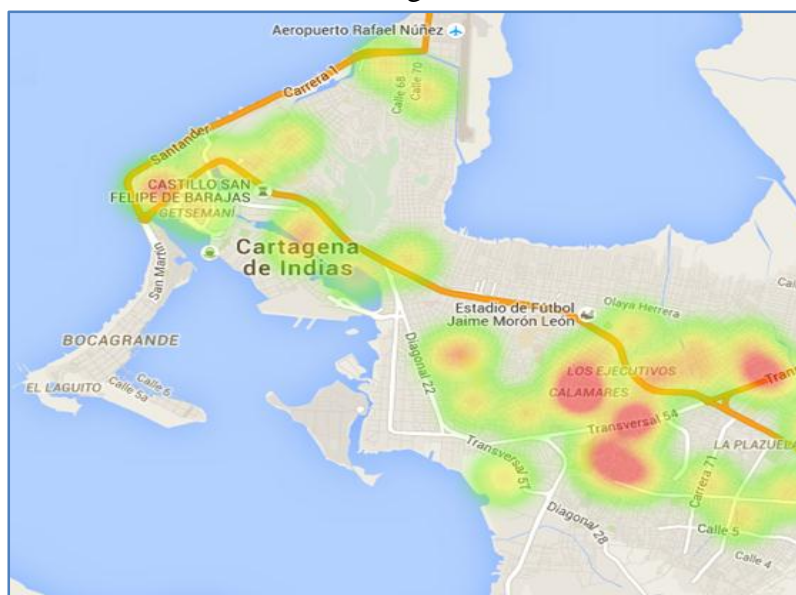
Estas parejas sitio-meteorología fueron de vital importancia para la modelación previa usando el software CALINE 3. Para este la información meteorológica fue procesada de forma primaria y secundaria.

Al terminar el procesamiento primario, se pudieron resumir los datos anuales cada 5 minutos a datos anuales cada hora.

Al finalizar el procesamiento secundario se obtuvo como resultado una de las variables principales para poder correr las modelaciones, esta fue la altura de capa de mezcla.

Del sitio web Seguridad en línea, con autor corporativo Empresa para la Seguridad urbana (ESU), tomamos el mapa de seguridad de Cartagena, presentado en la ilustración 11.

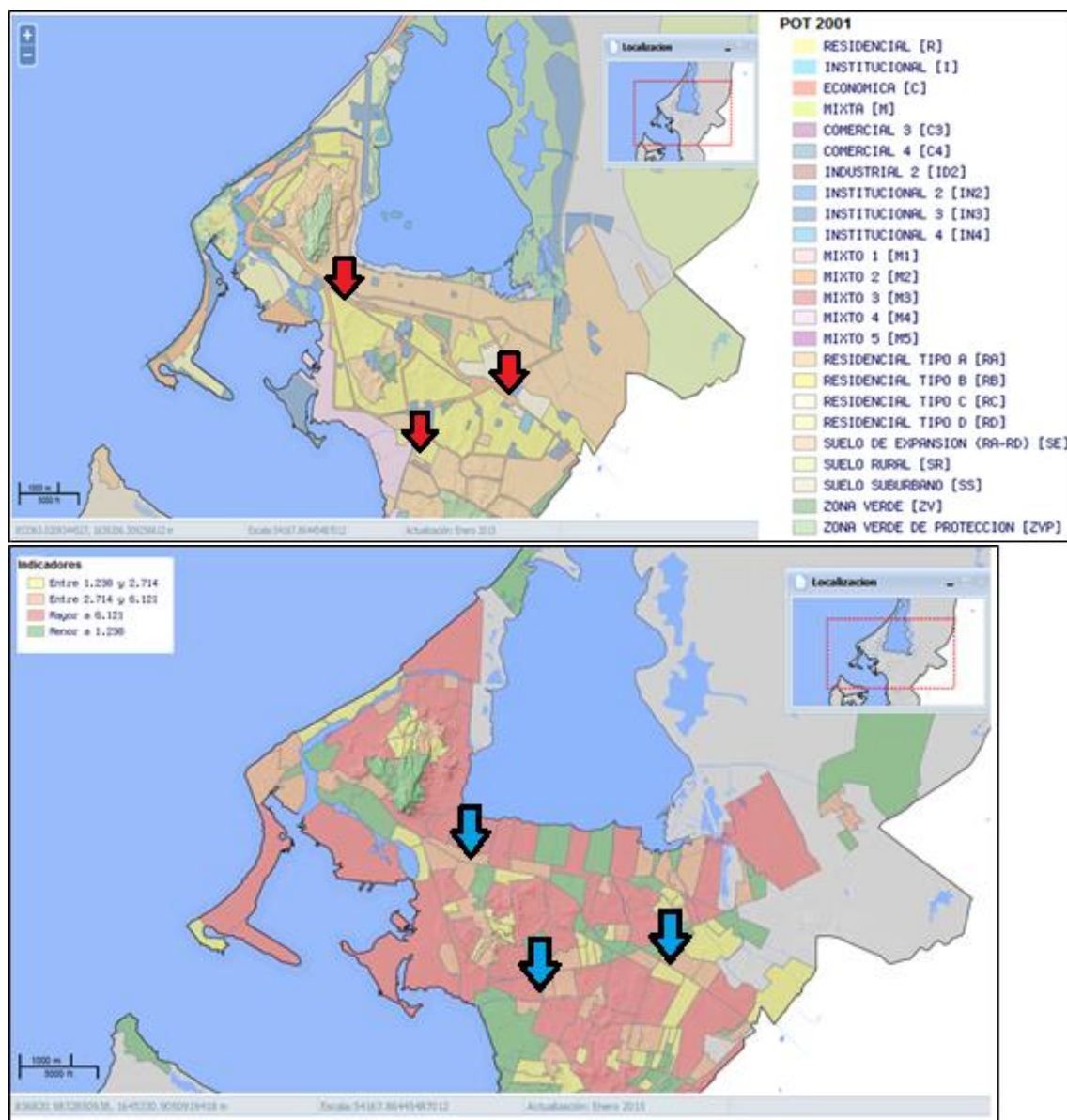
Ilustración 11. Mapa de calor para zonas de alto riesgo de criminalidad en la ciudad de Cartagena.



Fuente: ESU.

Del sitio web MIDAS2 elaborado por la alcaldía de Cartagena, tomamos el mapa de población y uso de suelo de Cartagena, mostrados en la ilustración 12.

Ilustración 12. Mapas del uso del suelo en la ciudad de Cartagena.



Fuente: MIDAS2

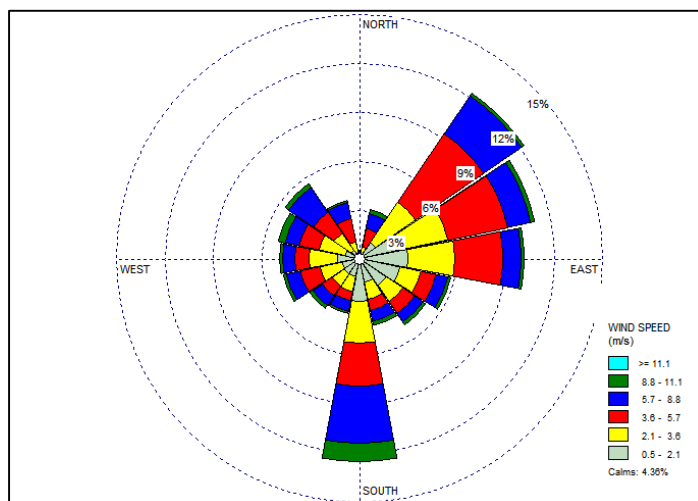
En la ilustración 12 se puede observar que las fechas indican los tres sitios que finalmente se escogieron para la investigación, del mapa de suelo se puede afirmar que se realizara en una zona económica pero mayormente mixta. Teniendo en cuenta el mapa de población en la parte inferior de la ilustración 12, se observa que en el punto cercano a la carretera de la cordialidad, la avenida pedro de Heredia sector maría auxiliadora y el corredor de carga-Ceballos existe una densidad entre 2.714 y 6.141 hab. /mi².

La información recolectada en la fase uno fue útil para seleccionar tres de los seis sitios con el fin de delimitar la investigación y asegurar su viabilidad.

6.2. Segunda Fase: descripción de los lugares seleccionados

Inicialmente con los datos meteorológicos recolectados en la fase, se pudieron realizar rosas de viento anuales de las 3 estaciones de monitoreo, CARDIQUE, CAI Olaya y Base Naval. Estas se pueden observar en las ilustraciones 13,14 y 15.

Ilustración 13. Rosa de viento Base Naval



En la ilustración 13 se observa la rosa de vientos de la base Naval, se demuestra un viento fuerte predominante procedente del Nor-este con un porcentaje entre 9 y 12%, en esta parte de la ciudad.

Ilustración 14. Rosa viento CAI Olaya

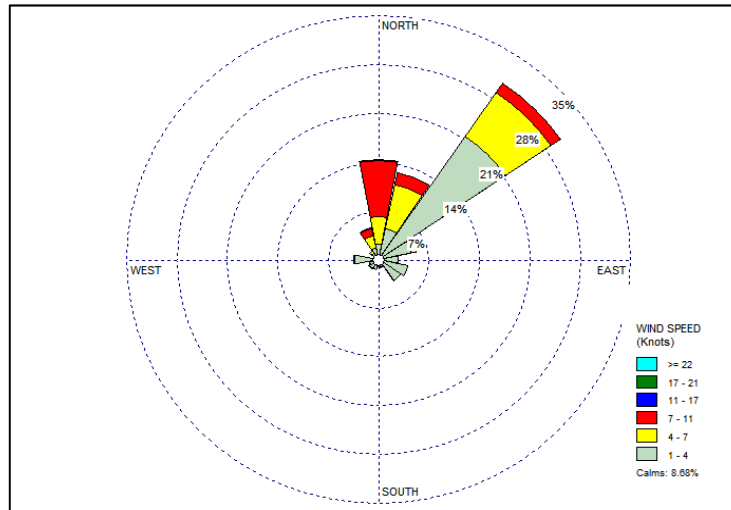
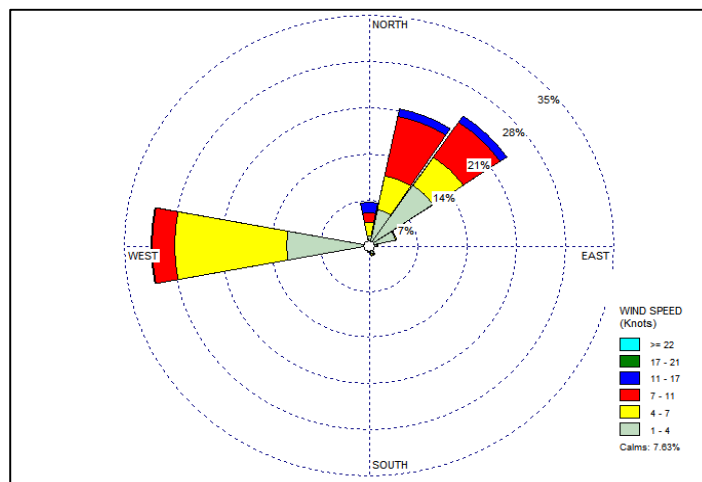


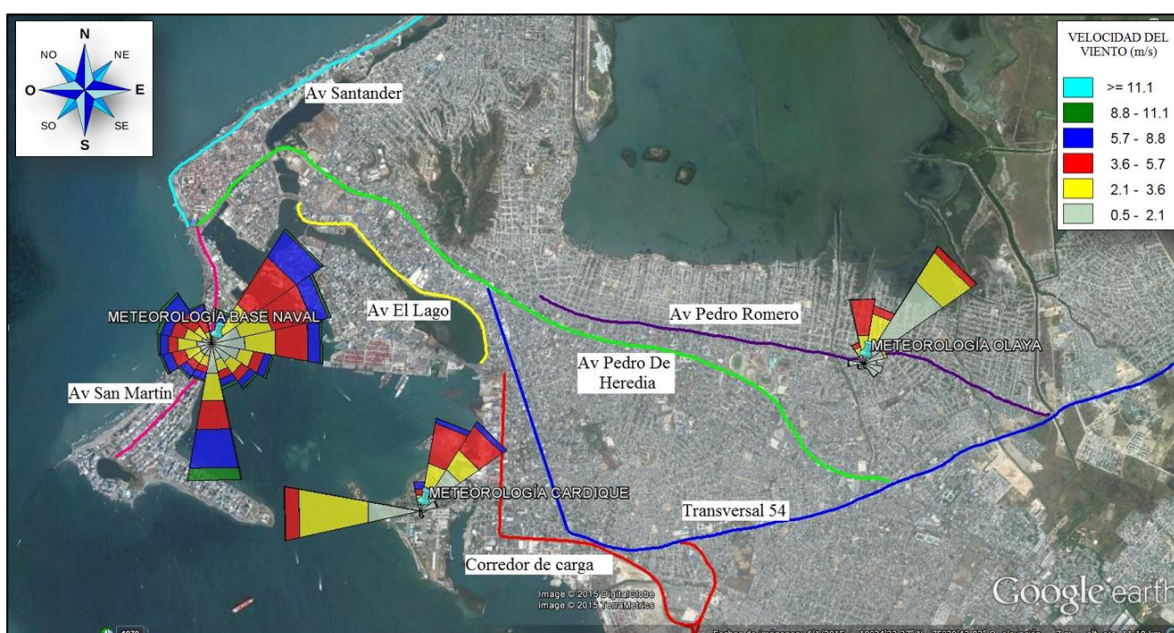
Ilustración 15. Rosa de viento CARDIQUE



En la ilustración 14 la rosa de vientos de la estación meteorológica ubicada en Olaya demuestra un viento predominante en dirección noreste, a cambio la rosa de vientos de la estación meteorológica de Cardique (ilustración 15) predomina la dirección del oeste.

A continuación el resultado al exportar las rosas de viento al software Google Earth, para apreciar su influencia en las vías principales de la ciudad de Cartagena.

Ilustración 16. Rosa de vientos en la ciudad de Cartagena.



Fuente: Google Earth

Al procesar esto, se pudo iniciar las modelaciones previas con la ayuda del software CALINE 3, ya que los receptores (R(#)) se ubican teniendo en cuenta principalmente la dirección del viento. Para esto era necesario recolectar información espacial de los 6 sitios y de sus alrededores, el resultado de esto se puede ver en las imágenes expuestas en los ANEXOS 2.

Ubicando los receptores y links en las vías de los seis (6) sitios seleccionados, podemos obtener las coordenadas de estos. Con estas y demás datos meteorológicos recopilados en la fase 1, se pudo iniciar las modelaciones previas para predecir la concentración de Contaminantes criterio, indicadores de calidad del aire, estos son CO y PM_{2.5}. Los resultados de estas modelaciones se pueden observar en los gráficos de 5 a 8:

Grafico 5. Concentraciones de CO promedio en los 6 escenarios por año y por tipo de vehículo.

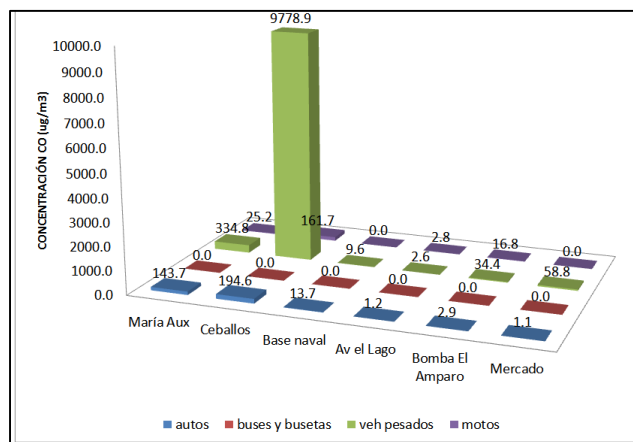


Grafico 6. Concentraciones de CO máxima en los 6 escenarios por hora y por tipo de vehículo.

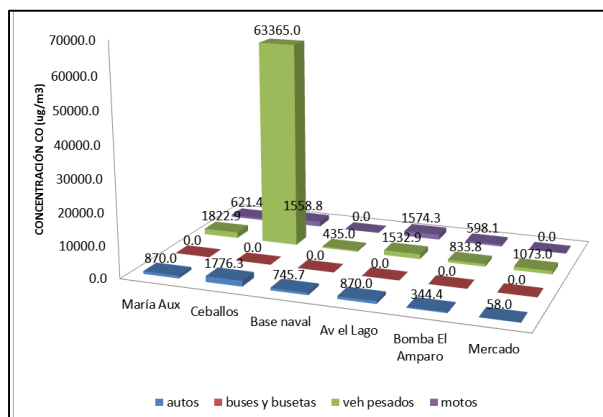


Grafico 7. Concentraciones de PM_{2.5} máxima en los 6 escenarios por hora y por tipo de vehículo

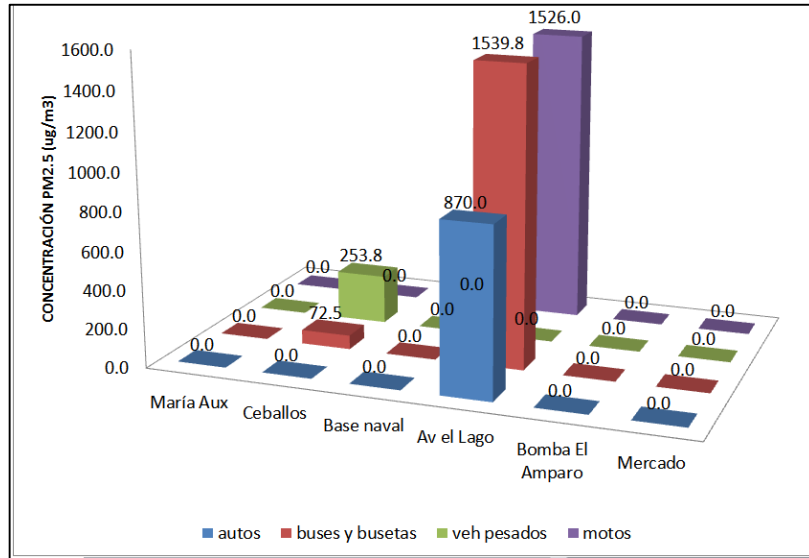
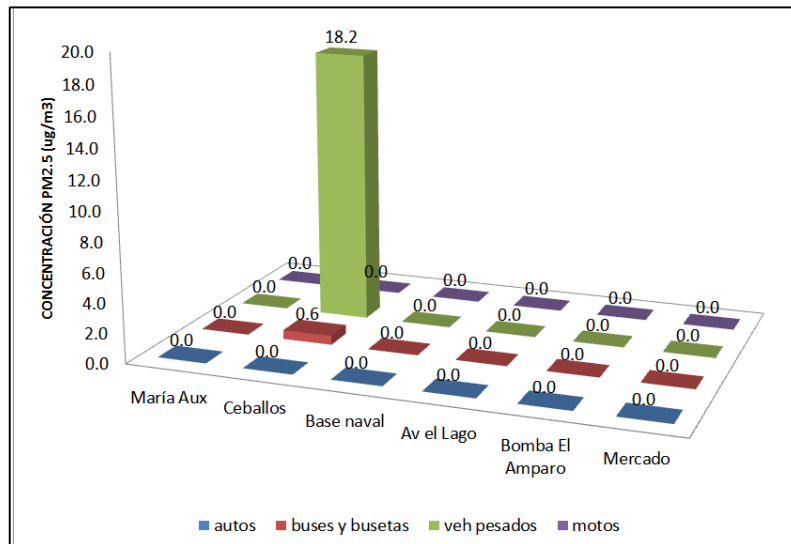


Grafico 8. Concentraciones de PM_{2.5} promedio en los 6 escenarios por año y por tipo de vehículo.



La grafica 5 demuestra unas concentraciones de CO altas en la zona de Ceballos con respecto a sus vehículos pesados, debido a que es un corredor de carga, por lo que no es sorpresa que en la gráfica 6 se demuestra que en cada hora es la zona con más concentración de este contaminante siendo la sobresaliente para el estudio, siguiendo la bomba del Amparo, María Auxiliadora, Avenida del Lago, Mercado y por último la Base Naval.

La grafica 7 demuestra una alta concentración de micro partículas en la zona de la Avenida del Lago y Ceballos, siendo en las demás zonas tan bajas concentraciones que el programa las aproxima a cero cuando se trabaja por hora, pero en promedio por año (grafica 8) el sector de Ceballos sigue dando altas concentraciones para este contaminante.

Con todos estos resultados es posible realizar la ponderación para seleccionar tres de los seis sitios, a continuación los resultados de esta:

Tabla 10. Resultado de la ponderación para la selección de los sitios.

Factores	Puntos de medición preseleccionado					
	Base Naval	Bomba del amparo	CAI María Auxiliadora	Avenida del lago EBAR	Mercado de Bazurto	Peaje Ceballo
Mediciones previas	60	48	48	36	30	48
Modelación	80	100	60	80	60	100
Seguridad	80	64	64	48	32	64
Influencia de otras fuentes	80	70	80	70	60	70
Accesibilidad	54	48	64	56	35	40
Barreras y obstáculos	63	56	56	56	42	49
Σ	417	386	372	346	259	371

Como se observa en la tabla, los sitios más críticos son: Base Naval, Bomba el amparo, María Auxiliadora y Ceballos.

Como se hace un poco difícil el acceso a la Base Naval, los tres sitios seleccionados para la investigación son: Carretera La Cordialidad – Bomba el Amparo, Avenida Pedro De

Heredia Sector María Auxiliadora y Corredor de Carga – Ceballos. Estos se visitaron para verificar el cumplimiento de los criterios establecidos por el EPA para monitoreo ambiental.

El tramo de vía circundante al punto de medición en el sector bomba amparo, tiene un pavimento en concreto rígido en buen estado, con un ancho aproximadamente de quince (15) metros abarcando sus tres carriles dos en sentido bomba amparo – centro y uno en sentido centro – bomba el amparo cada una semaforizada. La vía contiene un andén para los peatones de dos (2) metros en adoquín, sin embargo en sitio donde se colocó el equipo, presenta en su entrada principal una amplia zona sin pavimentar que posiblemente afectó en las mediciones de partículas con diámetro menos a 2.5 micrómetros.

El tramo de vía circundante en el punto de medición en el sector María Auxiliadora, posee un pavimento en concreto rígido en buen estado, con un ancho aproximadamente de diez (10) metros abarcando sus dos carriles ambos en sentido centro- bomba amparo con semáforo en la zona estudiada. La vía presenta andén para peatones de 2.6 metros. En sitio de medición no tiene en su entrada partes sin pavimentar, por lo que las mediciones de pm_{2.5} fueron confiables.

El tramo de vía circundante al punto de medición en el sector Ceballos, trabaja con un pavimento en concreto asfáltico en buen estado, con un ancho aproximadamente de catorce (14) metros abarcando sus tres carriles todos en sentido Ceballos - bomba amparo sin interrupción alguna en el tramo seleccionado. La vía presenta un andén para los peatones de un (1) metro, sin embargo en sitio donde se colocó el equipo, tiene en su entrada principal una pequeña zona sin pavimentar que posiblemente afectó en las mediciones de pm_{2.5}.

Se verifico los obstáculos como árboles y edificios. Las ilustraciones 17, 19 y 20 demuestran que los sitios son idóneos para llevar a cabo el monitoreo atmosférico en la zona, la ilustración 18 demuestra que hay un edificio tres pisos más alto al lateral derecho de la ubicación del instrumento, esto puede generar un problema debido a que puede a ver

una retención de los contaminantes, pero como no habían más opciones para situar el instrumentos se optó medir en este lugar.

Ilustración 17. Obstáculos veterinaria – Carretera La Cordialidad

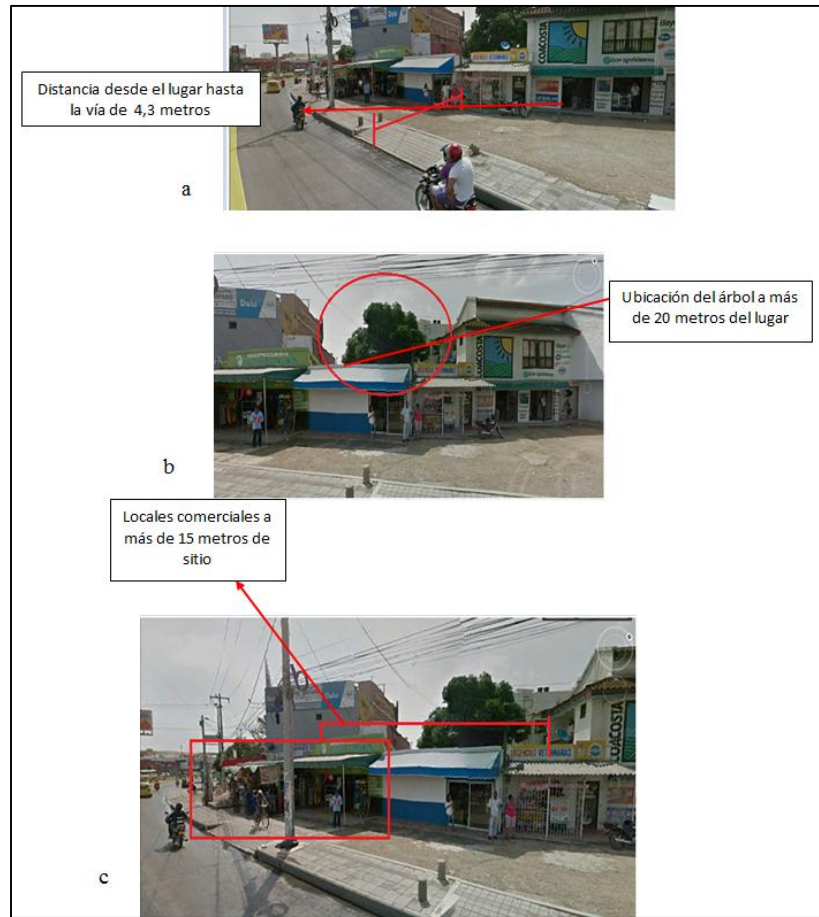


Ilustración 18. Obstáculos Almacén San Judas – Avenida Pedro De Heredia

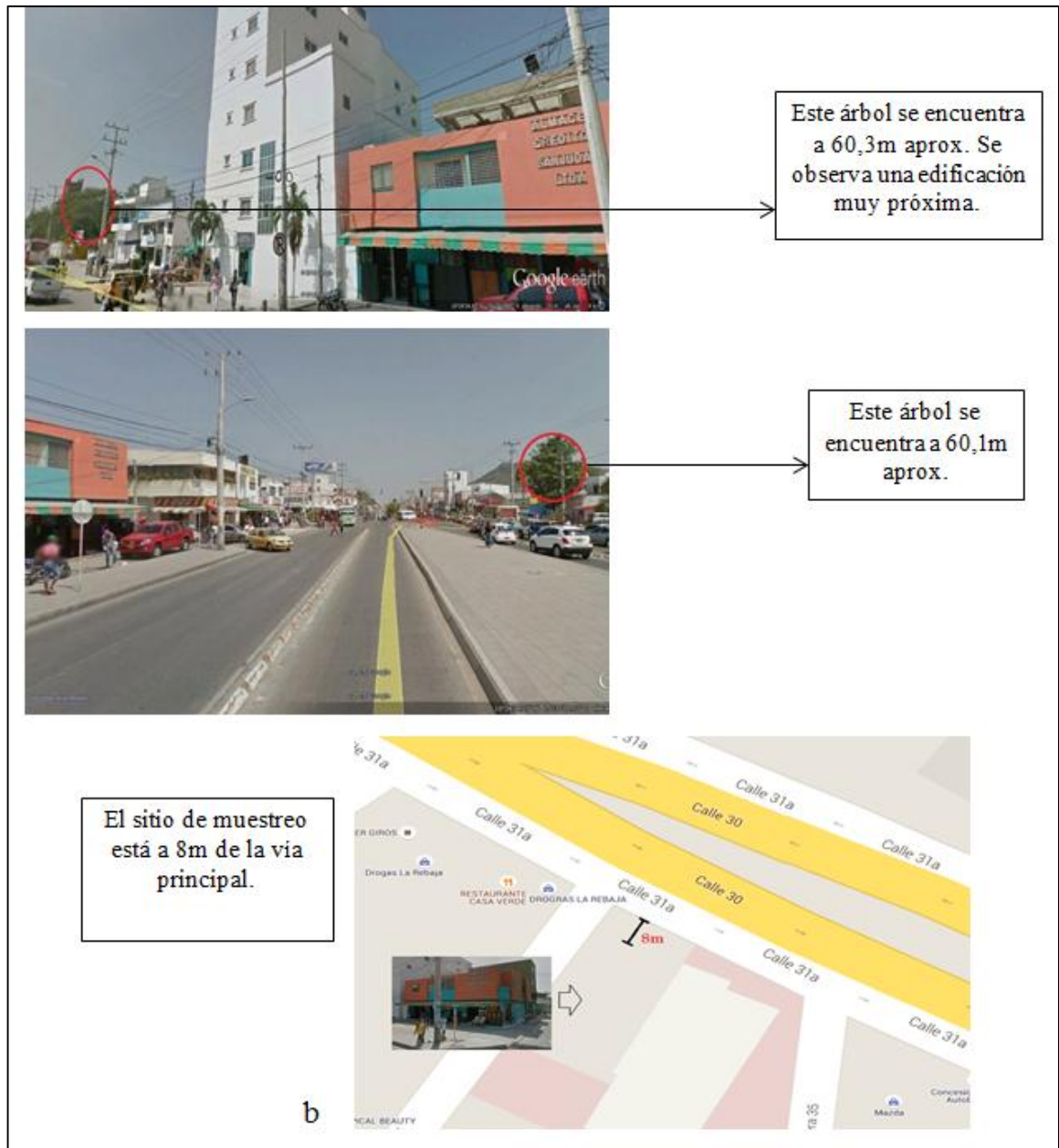


Ilustración 19. Obstáculos Accesorias & construcciones (AC) – Ceballos



6.3.Tercera Fase: medición de CO y material particulado con instrumentos de campo

En esta fase se describen la puesta en sitio y las mediciones obtenidas por punto de monitoreo.

CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO:

Ilustración 20. Puesta en sitio Bomba el Amparo



Los equipos fueron transferidos desde la universidad hasta este lugar donde se le hizo una calibración manual (ilustración 20), a partir del 10 de julio hasta el 7 de agosto del 2015 contando con 28 días de medición de contaminantes en esta zona y retirándolos el 15 de agosto del mismo año.

Grafico 9. Concentraciones de CO cada hora

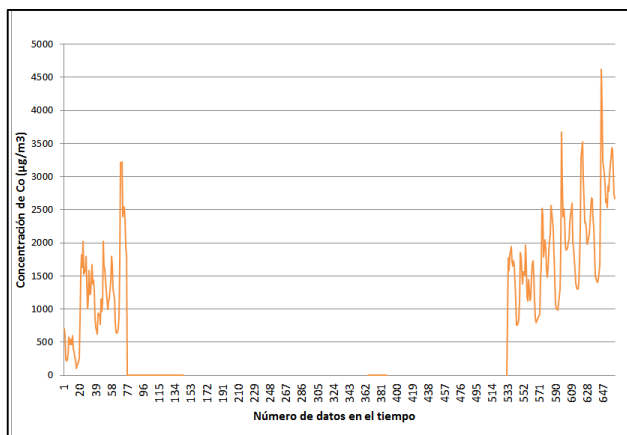
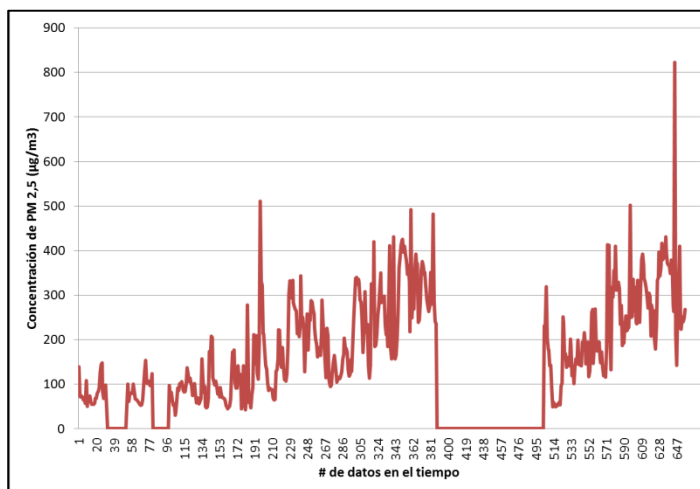


Grafico 10. Concentraciones de PM_{2.5} cada hora



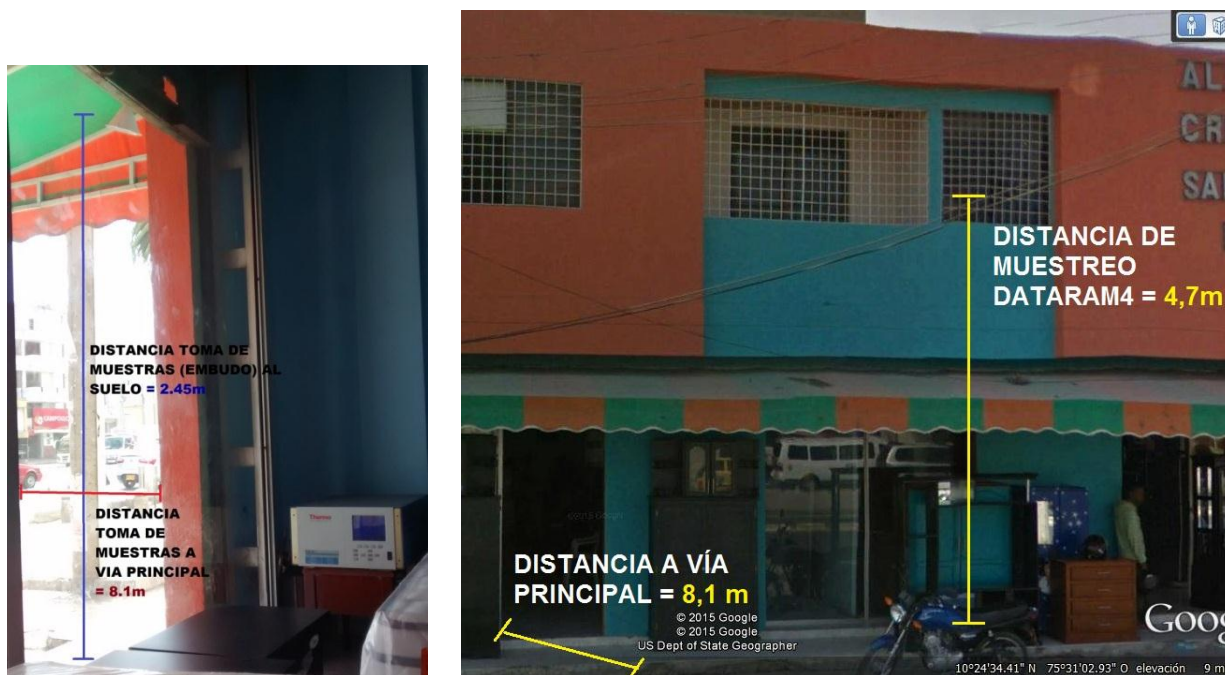
La grafica 9 describe 661 datos en el tiempo (cada hora) de muestreo de la carretera de la cordialidad en el sector de la Bomba el Amparo, es poco confiable para el mes de monitoreo debido a la cantidad de datos medidos en este lugar con 206 concentraciones validas producidas al lo largo de la jornada, menor al 32% de los obtenidos. Esto se debio

al traslado del equipo por fallas presentes al inicio del muestreo, además el flujo de la electricidad afectaba el registro. Se demuestran picos de concentraciones para este contaminante a las 7:00 a.m. como exponen el dato 69 que corresponde al 13 de julio con $3211,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO y el 645 que corresponde al 6 de agosto con $4624,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, esto es debido al alto flujo vehicular presente.

Se describe en la grafica 10, 656 datos y en tres intervalos de tiempo no se tomaron concentraciones de partículas debido a fallas en el fluido eléctrico y el instrumento inicia su procesamiento de manera manual, dando 501 concentraciones de partículas para el mes de monitoreo a analizar, además las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ en los datos presentes, demuestran que al inicio del mes de agosto aumentan para este contaminante con un pico en el dato 645 que corresponde al 6 de este mes en las 7:00 a.m. con $822,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$.

AVENIDA PEDRO DE HEREDIA-SECTOR MARÍA AUXILIADORA:

Ilustración 21. Puesta en sitio Maria Auxiliadora



Los equipos fueron transferidos desde la Bomba del Amparo hasta este lugar (ilustración 21) donde se le hizo una calibración manual, a partir del 15 de agosto hasta el 19 de septiembre del 2015 contando con 35 días de medición de contaminantes en esta zona.

Grafico 11. Concentraciones de CO cada hora

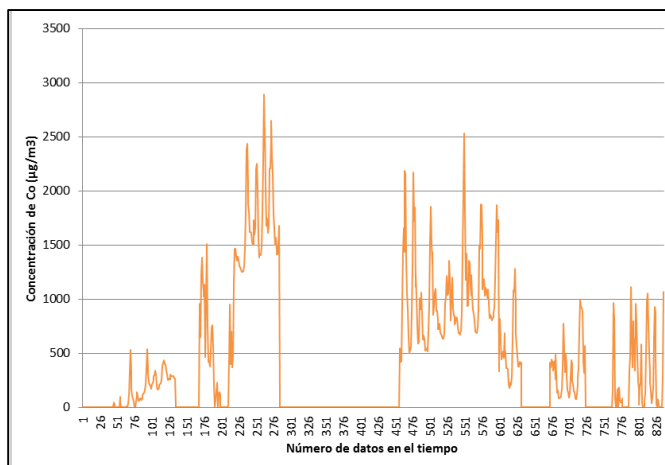
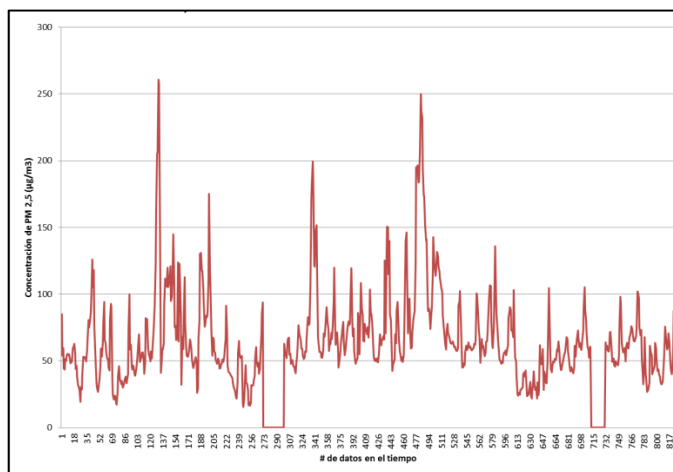


Grafico 12. Concentraciones de PM_{2.5} cada hora



El grafico 11 presenta 836 datos en el sector de Avenida Pedro de Heredia sector Maria Auxiliadora, describiendo tres intervalos de tiempo donde no midieron concentraciones del gas debido a mantenimiento y fallas en el fluido electrico siendo 521 concentraciones validas medidas. Los picos expuestos se presentan entre las horas de 7:00 a.m. a 9:00 a.m. con un promedio de 19778,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO esto se debe posiblemente al alto tráfico vehicular y fuentes fijas cercanas al punto de monitoreo.

El grafico 12 describe 825 datos de este sitio de monitoreo y en dos intervalos de tiempo no existen datos debido a fallas en la electricidad del sector, produciendo 778 concentraciones para este contaminante siendo mas del 94% de los datos descritos. Los dos picos maximos expueston son los datos 131 correspondiente al 20 de agosto a las 10:00 a.m. y 483 correspondiendo al 5 de septiembre a las 2:00 a.m. con una concentracion promedio de 250,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$, este hecho es posible debido a la diferencias de velocidad y dirección del viento más que por el tráfico vehicular.

CORREDOR DE CARGA-CEBALLOS:

Ilustración 22. Puesta en sitio Peaje de Ceballos



Los equipos fueron transferidos desde Maria Auxiliadora hasta un gimnasio ubicado en el sector del Corredor de Carga- Ceballos desde el 19 hasta el 24 de septiembre del año 2015 donde se le hizo una calibración manual, aunque se dejaron en funcionamiento, se descartaron estos datos debido a que los instrumentos se apagaban con frecuencia lo que ocasiono demasiados errores en las mediciones, a partir del 24 de septiembre hasta el 24 de octubre del 2015 contando con 30 días de medición se movilizaron hasta el lugar mostrado en la ilustración 22.

Grafico 13. Concentraciones de CO cada hora

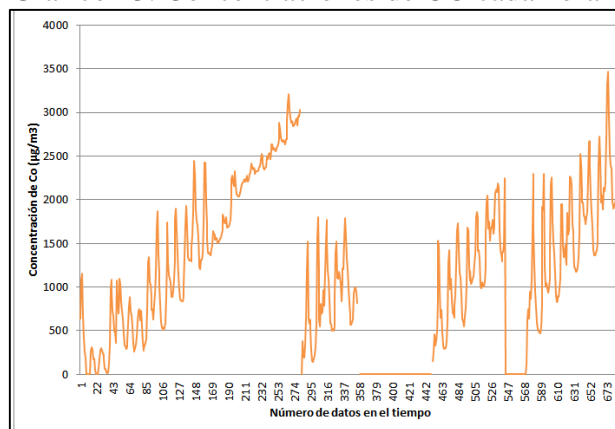
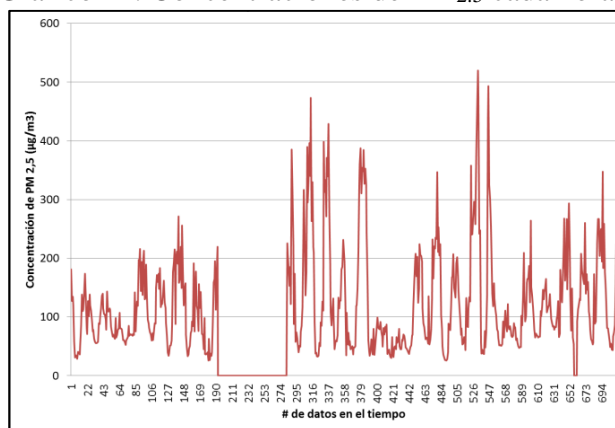


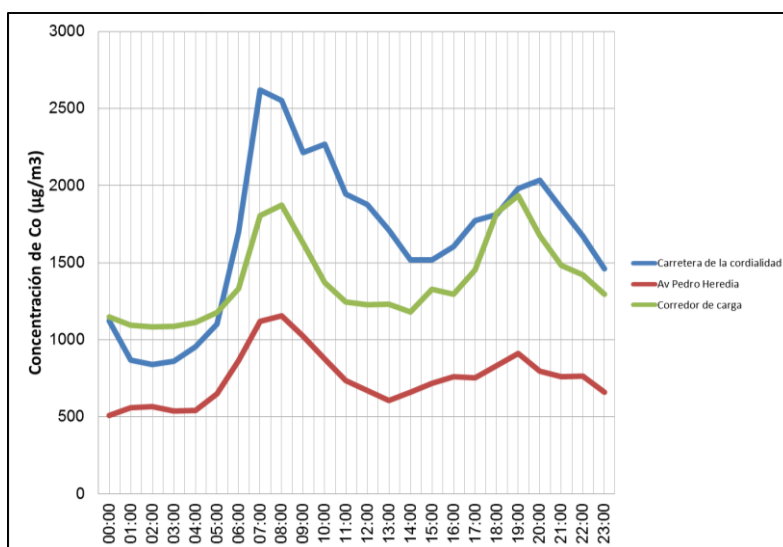
Grafico 14. Concentraciones de PM_{2.5} cada hora



El grafico 13 describe 688 datos a lo largo del mes de monitoreo siendo 624 válidos para el análisis, la gráfica no muestra una tendencia debido a que no se calibro correctamente, el gas cero con que se llevaba a cabo esta labor se agotó, las concentraciones medidas se vieron afectadas, se puede observar la inestabilidad del equipo thermo electron scientific modelo 48i en los resultados. Los picos más representativos de este grafico se presentan en las horas de la mañana, siendo las 9:00 a.m. la moda de este contaminante con 6859.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, esto se debe al alto flujo vehicular además de pocas fuentes fijas cercanas.

El grafico 14 representa 713 datos obtenidos del monitoreo atmosférico, el cual tuvo un intervalo de tiempo significativo donde no se midió la concentración del material particulado debido al manteamiento del instrumento en el lugar teniendo 619 concentraciones medidas a lo largo de la campaña de medición. Los picos de este grafico se registran en las horas de la tarde siendo el dato 532 el pico más alto correspondiente al 16 de octubre a las 7:00 p.m. con 519,608 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$, posiblemente esto se deba a la movilidad ininterrumpida para los vehículos.

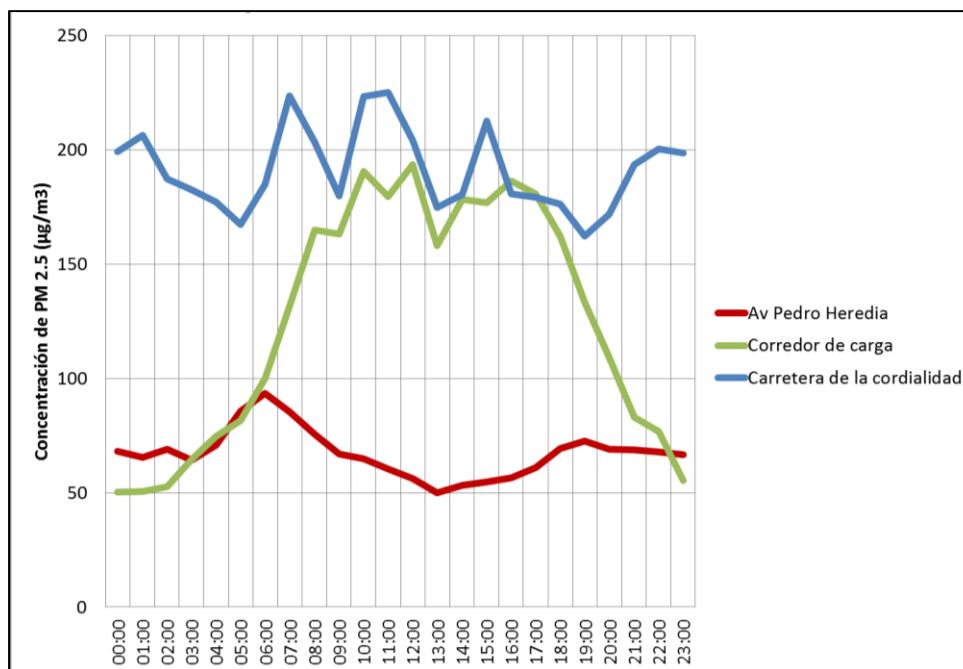
Grafico 15. Comparación de concentraciones promedias diarias en los sitios de muestreo para Monóxido de carbono



Se demuestra en el grafico 15 que en las horas de la mañana existe una gran carga de contaminante de monóxido de carbono en los tres sitios monitoreados en las horas de la mañana de 6:00 a.m. a 10:00 a.m. y en las horas de la noche de 6:00 p.m. a 9:00 p.m. en el sector Bomba el Amparo y Ceballos se observa nuevamente un incremento. Estas alzas en la concentración de CO pueden ser a causa del alto flujo vehicular presente en las vías estudiadas a esas horas.

Las concentraciones medidas por el instrumento Modelo 48i Analizador de CO son poco confiable, debido a un problema en la rueda de correlación que no se pudo solucionar al momento de su mantenimiento, pero al equipo ser sensible al cambio de contaminantes en la zona de estudio se determinó utilizar los datos más significativos que registraba, por lo que posiblemente para estos sitios donde se realizó el monitoreo exista una concentración de CO mayor a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como lo muestra el grafico 15.

Grafico 16. Comparación de concentraciones promedias diarias en los sitios de muestreo para Micro partículas menores a 2,5



El grafico 16 expone al igual que el grafico 14, el lugar con mayor carga de contaminación es la Carretera de la cordialidad sector Bomba el Amparo, con respecto a los otros dos sitios, también demuestra que en la zona existen grandes picos alrededor del día, con respecto a este contaminante, posiblemente se deba a que en esta carretera el porcentaje de estancamiento de vehículos es mayor que en los otros dos.

6.4. Cuarta Fase: concentración de CO y material particulado $PM_{2.5}$ por estimado de factores de emisión.

Se utilizó la meteorología del 2014, debido a que no se tienen los registros completos de los meses en los cuales ocurrió la campaña de monitoreo, de las estaciones meteorológicas para el año 2015.

Se analizaron los aforos vehiculares para representar la movilidad en las zonas de muestreo y de esta forma presentar en donde existen los picos y valles.

Grafico 17. Promedio horario de aforos realizados en la CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO

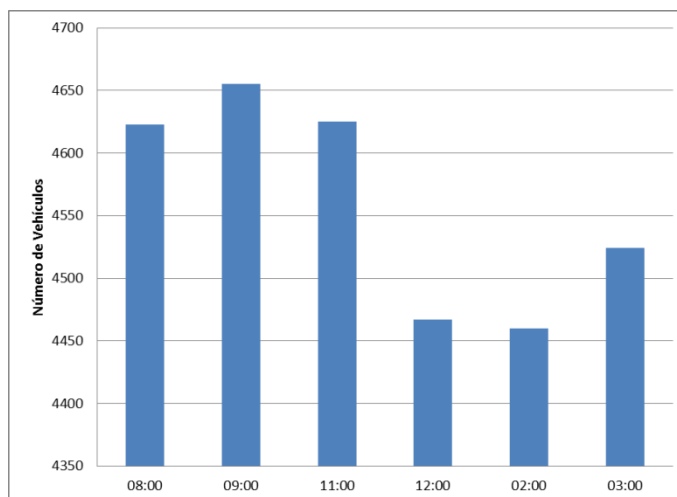


Grafico 18. Promedio horario de aforos realizados en la AVENIDA PEDRO DE HEREDIA-SECTOR MARÍA AUXILIADORA

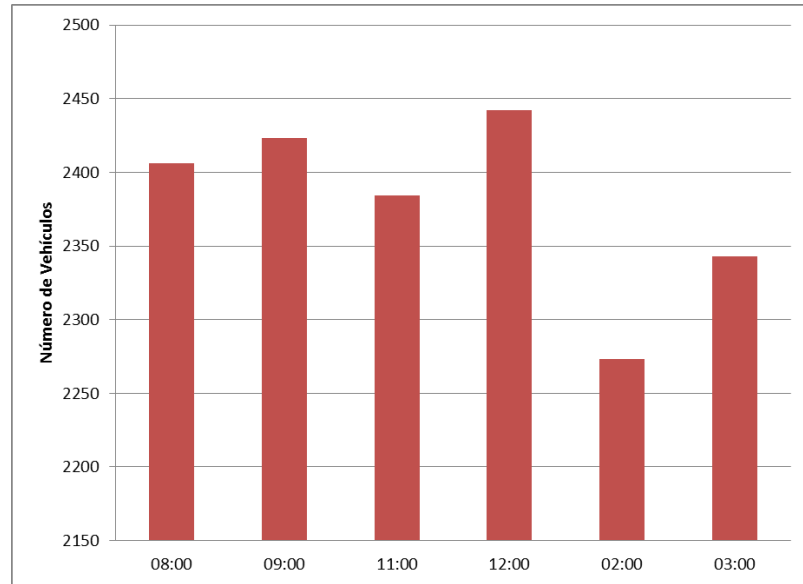
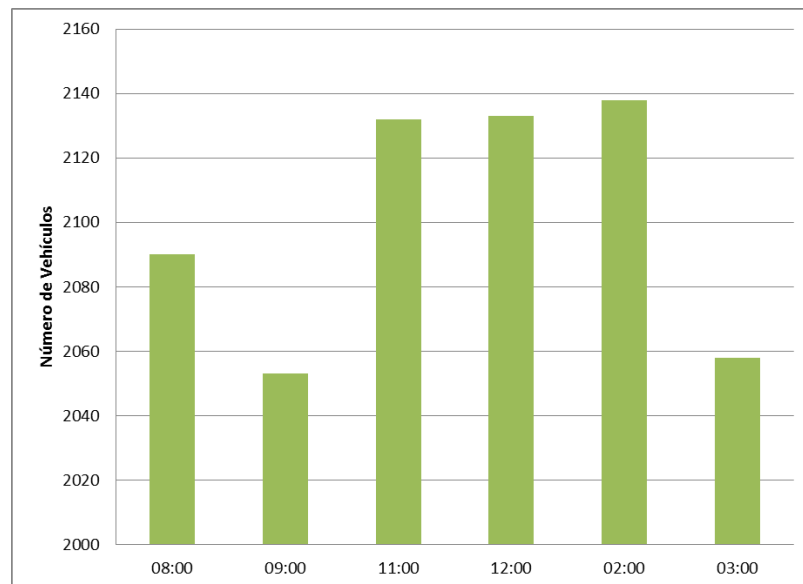
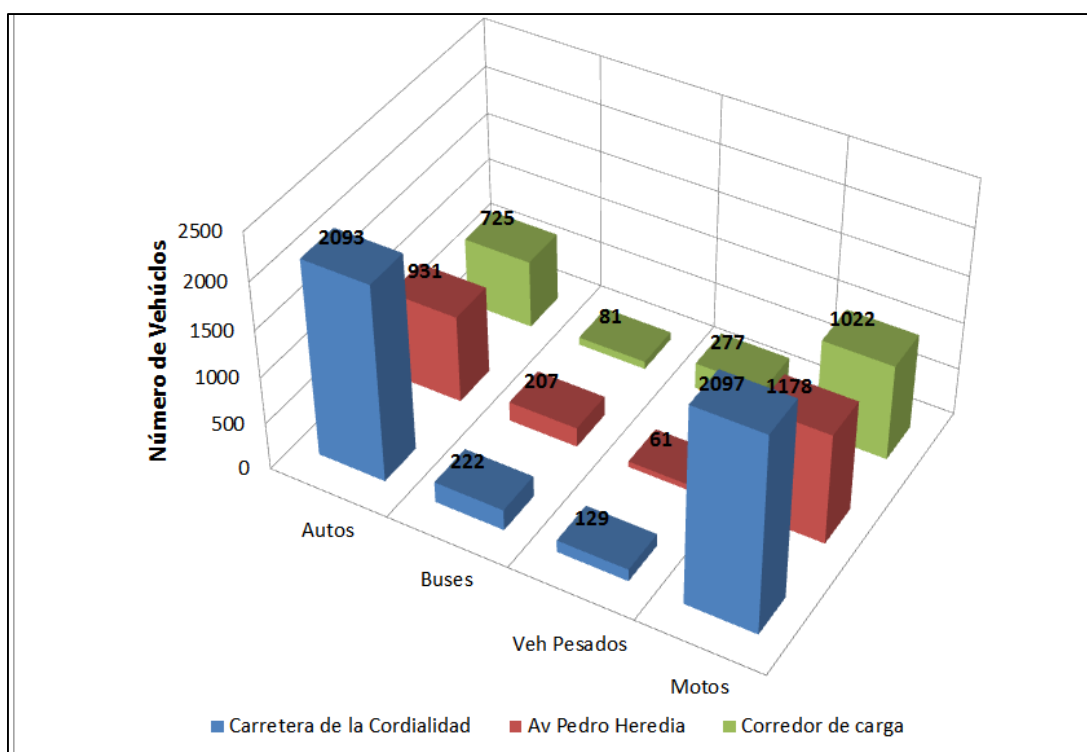


Grafico 19. Promedio horario de aforos realizados en el CORREDOR DE CARGA-CEBALLOS



El grafico 17 describe que en la carretera de la Cordialidad en el sector de la Bomba el Amparo en las horas de la mañana existe mayor movilidad vehicular, el grafico 18 demuestra que en el sector de María Auxiliadora la movilidad alcanza su máxima en el medio día y el grafico 19 representa que las horas pico de esta zona están en las horas de la tarde y en la mañana existe una movilidad muy baja.

Grafico 20. Comparación de la flota vehicular en cada sitio de muestreo



La grafica 20 muestra la movilidad en cada sitio comparando la cantidad del tipo de vehículo que transita, demostrando que las motos y los autos son una totalidad bastante influyente en las modelaciones. Se observa que el número de autos es alto en la carretera de la cordialidad y Av Pedro Heredia comparado con el corredor de carga donde resalta el

número de Vehículos pesados. El comportamiento del Volumen vehicular es muy similar en los 3 sitios de estudio.

6.4.1. CALINE3

A continuación presentamos los resultados de las modelaciones con los datos obtenidos de los aforos vehiculares y los factores de emisión para esta fase (ANEXOS 3) además se utilizaron información meteorológica del 2014 para determinar las concentraciones de CO por flujo vehicular.

Grafico 21. Concentraciones de CO para CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO de todos los vehículos que transitan por la vía por hora

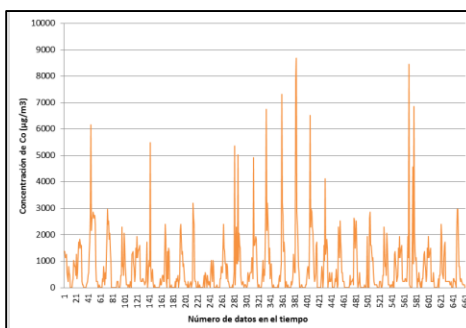
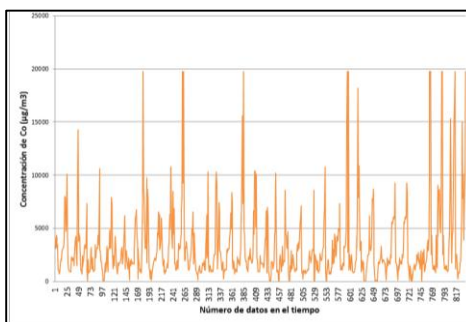
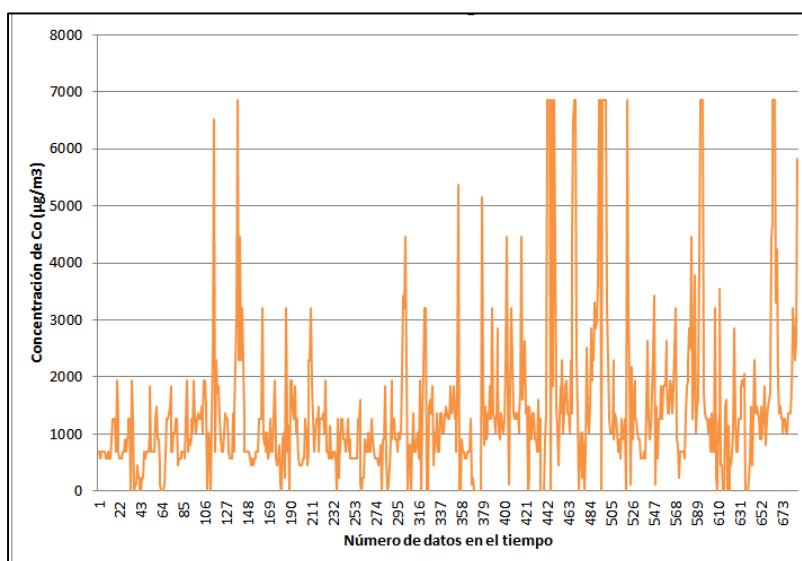


Grafico 22. Concentraciones de CO para la AVENIDA PEDRO DE HEREDIA-SECTOR MARÍA AUXILIADORA de todos los vehículos que transitan por la vía por hora.



El grafico 21 demuestra las 661 datos modelados para todos los vehículos que transitan en la vía cada hora, visualmente se nota una tendencia en sus rangos de picos y valles y el grafico 22 señala los 836 datos modelados representado una contaminación muy alta comparada con los otros sitios por sus picos casi en a 20 000 ug/m3.

Grafico 23. Concentraciones de CO para el CORREDOR DE CARGA DE CEBALLOS de todos los vehículos que transitan por la vía por hora.



El grafico 23 indica 688 datos modelados de las concentraciones por emisión de vehículos en el corredor de carga teniendo unos picos de 7000 ug/m3, siendo el más bajo en comparación con las demás mediciones.

6.4.2. CALINE4

Con los datos recolectados referentes a flujo vehicular, factores de emisión (ANEXOS) y la información meteorológica de 2014, se puede realizar las modelaciones finales con el software CALINE4 para PM_{2,5} esto se debe a que el software CALINE3 es muy impreciso en este contaminante.

Grafico 24. Concentraciones en ppm de PM_{2.5} para la CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO de todos los vehículos que transitan por la vía por día.



Grafico 25. Concentraciones en ppm de PM_{2.5} para el CORREDOR DE CARGA DE CEBALLOS de todos los vehículos que transitan por la vía por día.

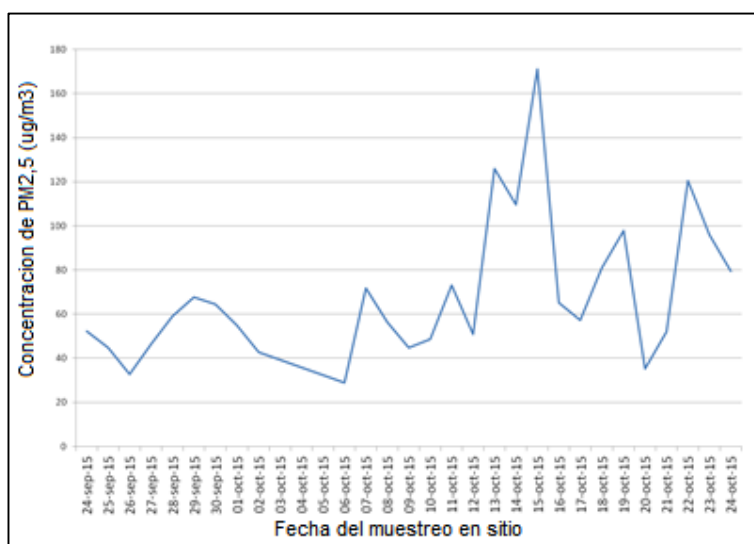
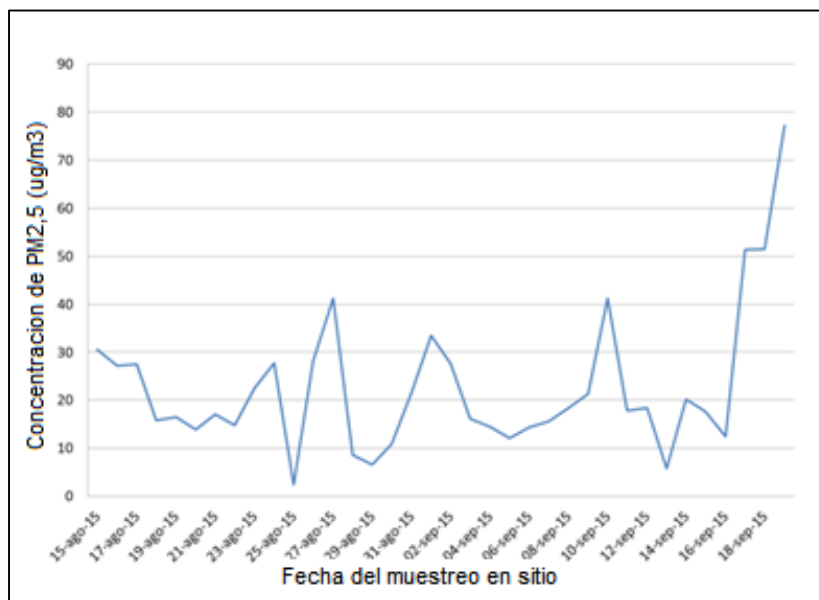


Grafico 26. Concentraciones en ppm de PM_{2.5} para la AVENIDA PEDRO DE HEREDIA-SECTOR MARÍA AUXILIADORA de todos los vehículos que transitan por la vía por día.



El grafico 24, 25 y 26 muestran las concentraciones de micro partículas en los lugares escogidos para el monitoreo, donde se notan que en promedio hay días donde el contaminante alcanza grandes picos.

6.5. Quinta Fase: calidad del aire en proyectos viales.

6.5.1. Etapa 1: Incidencia del flujo vehicular total

Se determina la calidad del aire con las concentraciones medidas con la técnica directa según la norma vigente en Colombia para Cartagena.

Con las modelaciones se compara la cantidad de concentraciones de contaminantes criterio emitidas por los vehículos con respecto a la medida con los instrumentos, de esta forma se obtiene la incidencia del flujo vehicular para estos lugares con PM_{2.5}.

Las mediciones obtenidas con el equipo Modelo 48i Analizador de CO, no se comparan con la norma debido al imprevisto descrito con anterioridad, tampoco a las modelaciones de este mismo contaminante se les realizo este análisis debido a que las concentraciones obtenida fueron menores a los 9000 ug/m³, cuando la norma tiene un límite de 40000 ug/m³.

CARRETERA DE LA CORDIALIDAD-BOMBA EL AMPARO

El grafico 27 demuestra que por flujo vehicular la calidad del aire es estable pues solo supera de la norma en dos días, pero con respecto a la concentración de contaminantes total de la zona está muy por encima, esto quiere decir que la calidad del aire del sector es muy riesgosa para la salud.

La incidencia en este sitio es relativamente baja, solo el 22,44% en promedio. Se observa que a principios del mes de julio la cantidad incide en gran medida a la concentración de contaminante emitidos por vehículos a la concentraciones de campo, esto se puede ser debido a que existe una bomba gasolinera en esta zona además de un sector comercial y una parte del andén esta sin pavimentar haciendo que este aumente la cantidad de partículas suspendidas en el aire.

Grafico 27. Comparación de la norma con las concentraciones de PM_{2.5} medida en campo y con las del modelo.

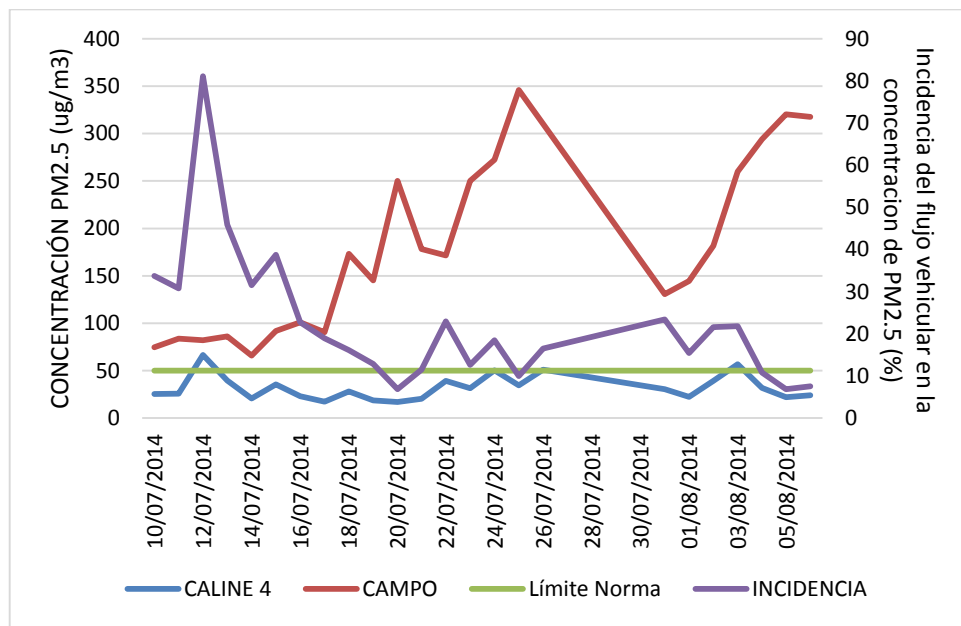
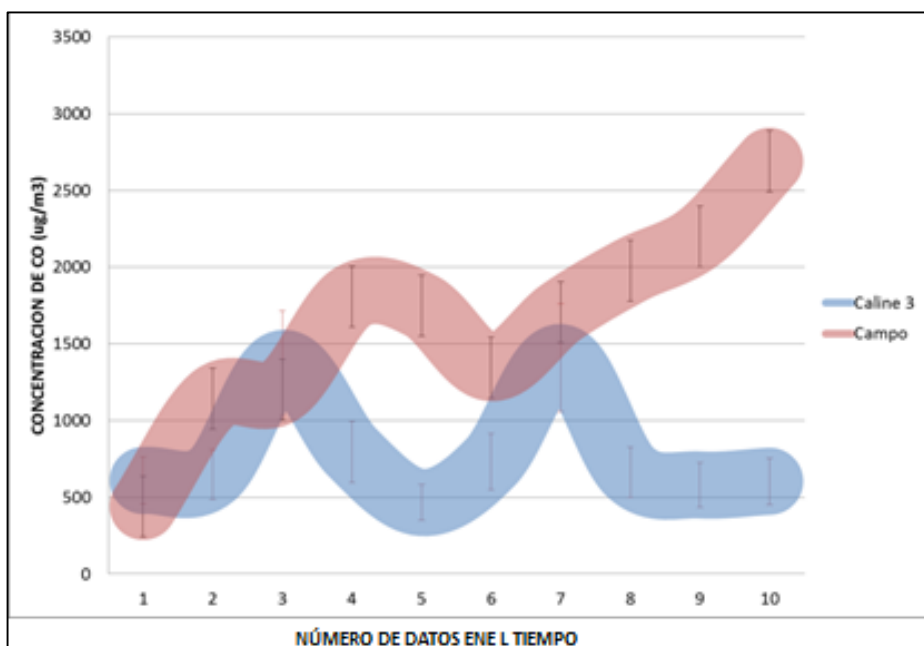


Grafico 28. Comparación entre concentraciones de CAMPO Y SOFTWARE

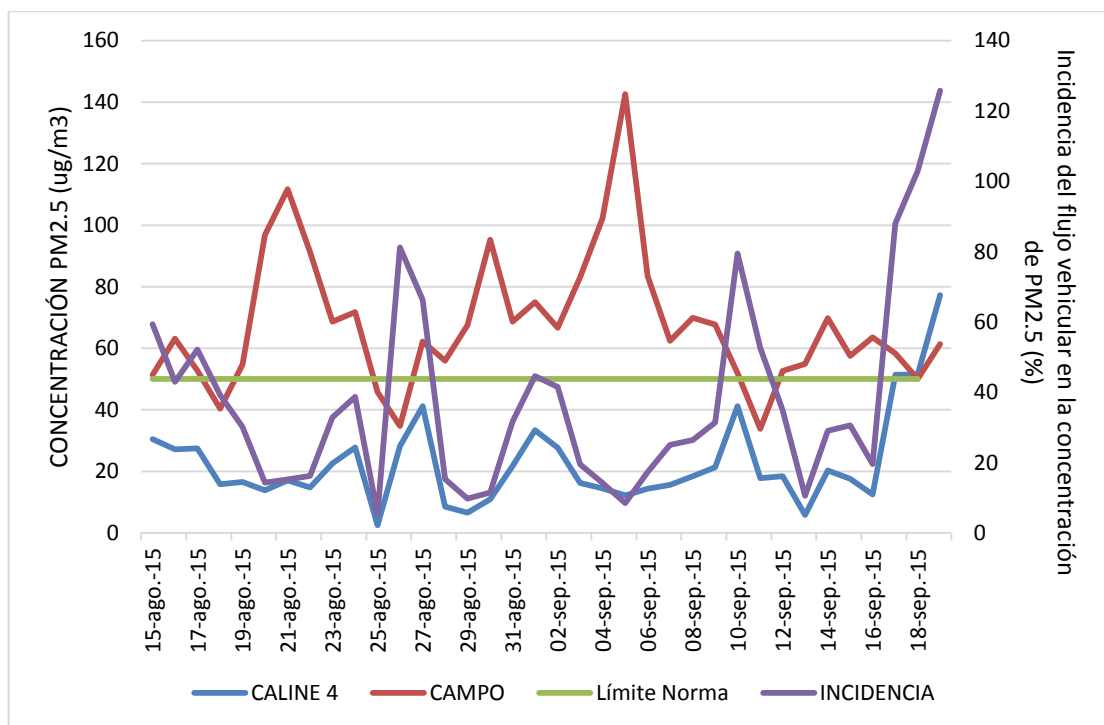


El grafico 28 demuestra que al principio del monitoreo el tráfico vehicular inciden gran medida en los datos obtenidos en esta zona, el cambio a los largo del tiempo puede ser debido a la posición del instrumento, o a la velocidad del viento que disperso en gran medida las concentraciones, además que la cantidad de datos obtenidos no es muy robusta.

AV PEDRO DE HEREDIA-SECTOR MARÍA AUXILIADORA

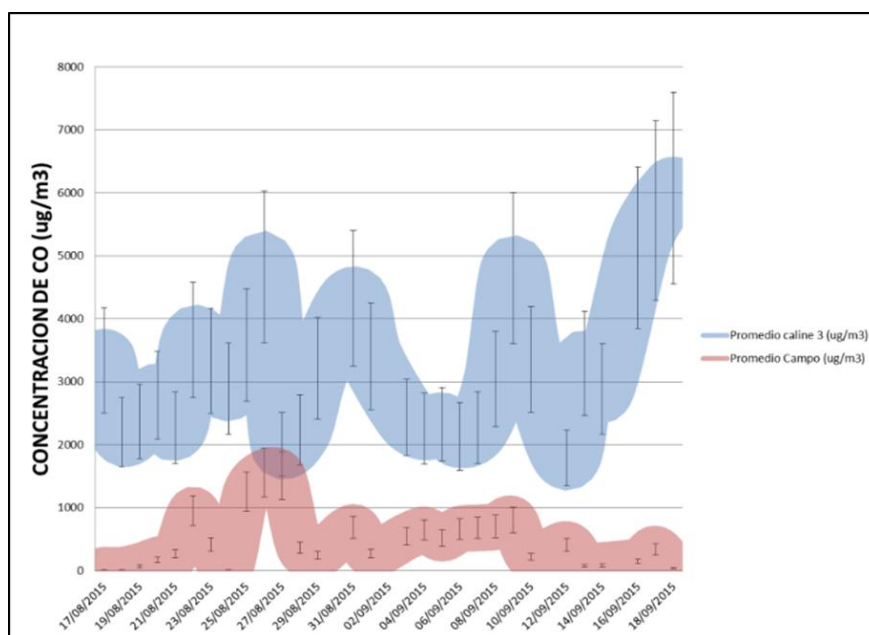
El grafico 29 demuestra que en las concentraciones de campo al igual que los anteriores dos sitios de monitoreo no cumple con la norma para este contaminante, siendo una zona muy comercial y donde existen varios establecimientos de salud pública. La incidencia del flujo vehicular en esta zona a un promedio del 31%, esto se debe a que existen otros tipos emisiones de contaminantes muy cercanas al sitio de muestro.

Grafico 29 Comparación de la norma con las concentraciones de PM_{2.5} medida en campo y con las del modelo.



El grafico 30 figura la situación de la Avenida Pedro de Heredia sector María Auxiliadora para el monóxido de carbono demostrando pocas áreas comunes a lo largo del monitoreo, pero expone que donde existen picos en la modelación a la vez hay picos en el cambio de la concentraciones del contaminante lo que presenta una sensibilidad al flujo vehicular de la zona en esos momentos.

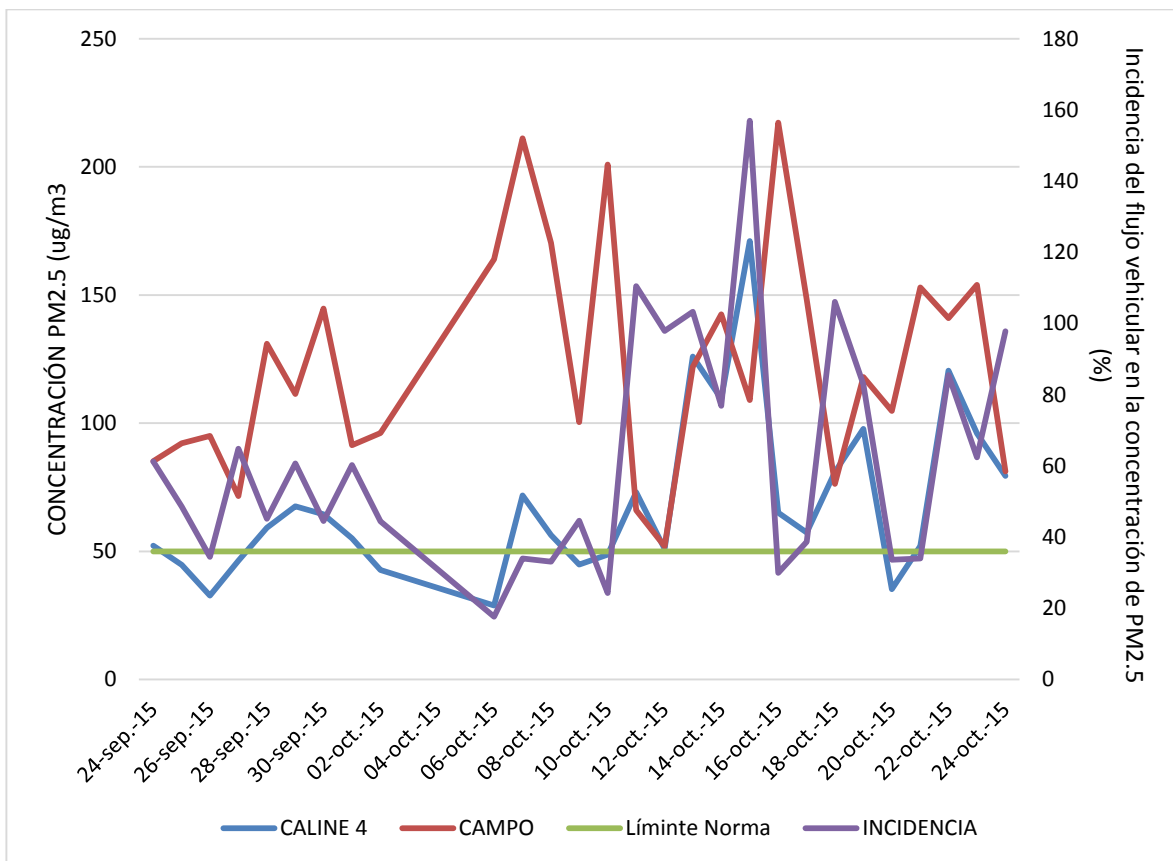
Grafico 30. Comparación entre concentraciones de CAMPO Y SOFTWARE



CORREDOR DE CARGA-CEBALLOS

El grafico 31 indica que la calidad del aire en esta zona es riesgosa para los transeúntes y el personal que reside por estos lugares, tanto la contaminación de campo como las concentraciones arrojadas del modelo sobrepasa la norma vigente en su mayor parte. La incidencia vehicular alrededor del mes de monitoreo en promedio es de 61.93% a la concentración del contaminante, esto se debe a que la mayor parte de vehículos que transitan por este lugar son vehículos pesados de gran potencia.

Grafico 28. Comparación de la norma con las concentraciones de PM_{2.5} medida en campo y con las del modelo.



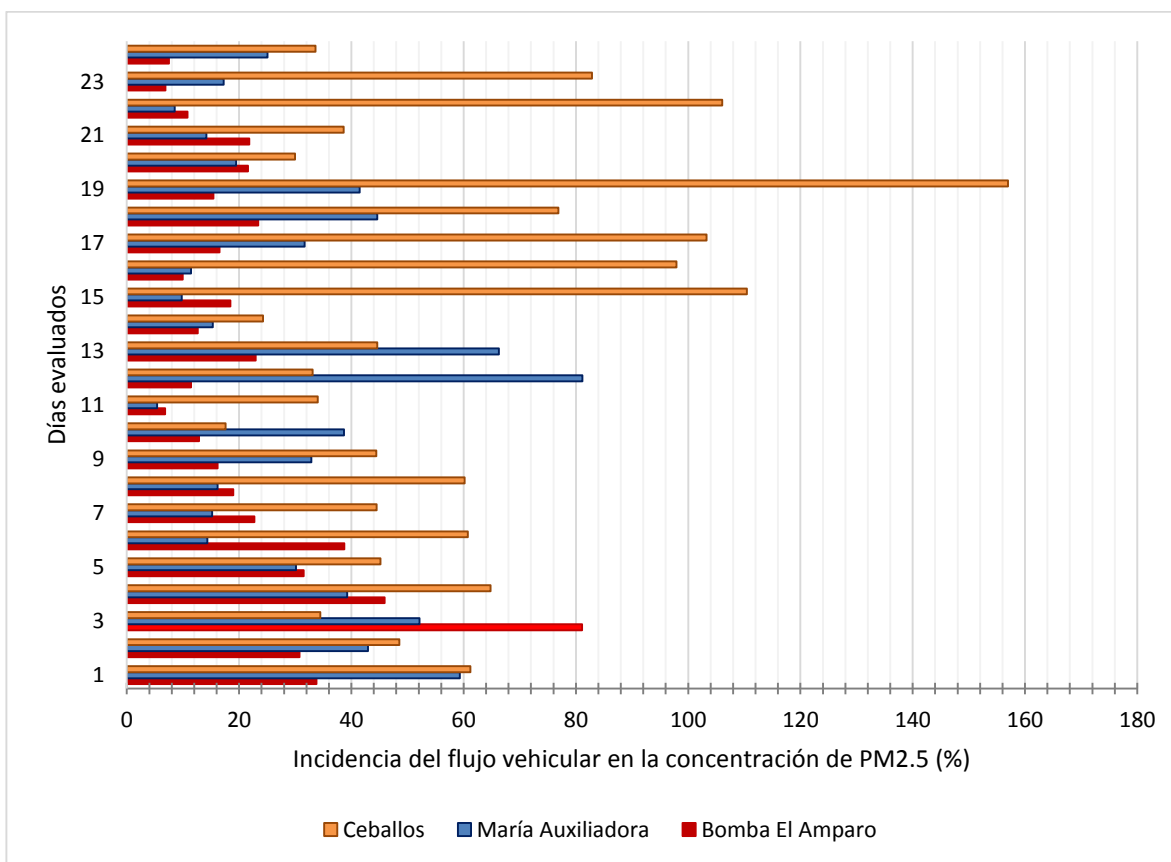
El gráfico 32 expone una comparación tentativa de la incidencia del flujo vehicular total en la calidad del aire debido a la contaminación por partículas en los tres sitios de estudio. Los resultados son de meses diferentes por lo cual no se debería contrastar, pero es interesante observar el comportamiento durante los primeros 24 días de monitoreo de cada lugar.

Al analizar lo mostrado en el gráfico se puede concluir que en el Corredor de carga sector Ceballos la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire es la más alta, seguido de la Av. Pedro De Heredia sector María Auxiliadora y La Carretera de la Cordialidad sector Bomba El Amparo. Este resultado posiblemente se debe a que en Ceballos la presencia de restaurantes, gasolineras y demás fuentes fijas eran menores comparados con los demás sitios. De hecho el sitio era muy desolado en cuanto a negocios. En Bomba El Amparo sucede justo lo contrario, percibimos la presencia de muchos establecimientos entre ellos

panaderías, restaurantes y la gasolinera justo al frente. Esto sin duda aumentó la concentración medida en campo disminuyendo la incidencia de las fuentes móviles.

En el Corredor de carga-Ceballos se observa que la incidencia sobrepasa el 100% algunos días, esto ocurre cuando el modelo tiene mayor concentración de $PM_{2.5}$ que el campo, por ejemplo el día 19. Esto posiblemente se deba al FE de los vehículos pesados, que es muy alto comparado con los otros vehículos, y como en este sector abunda esta categoría, se presenta esta anomalía.

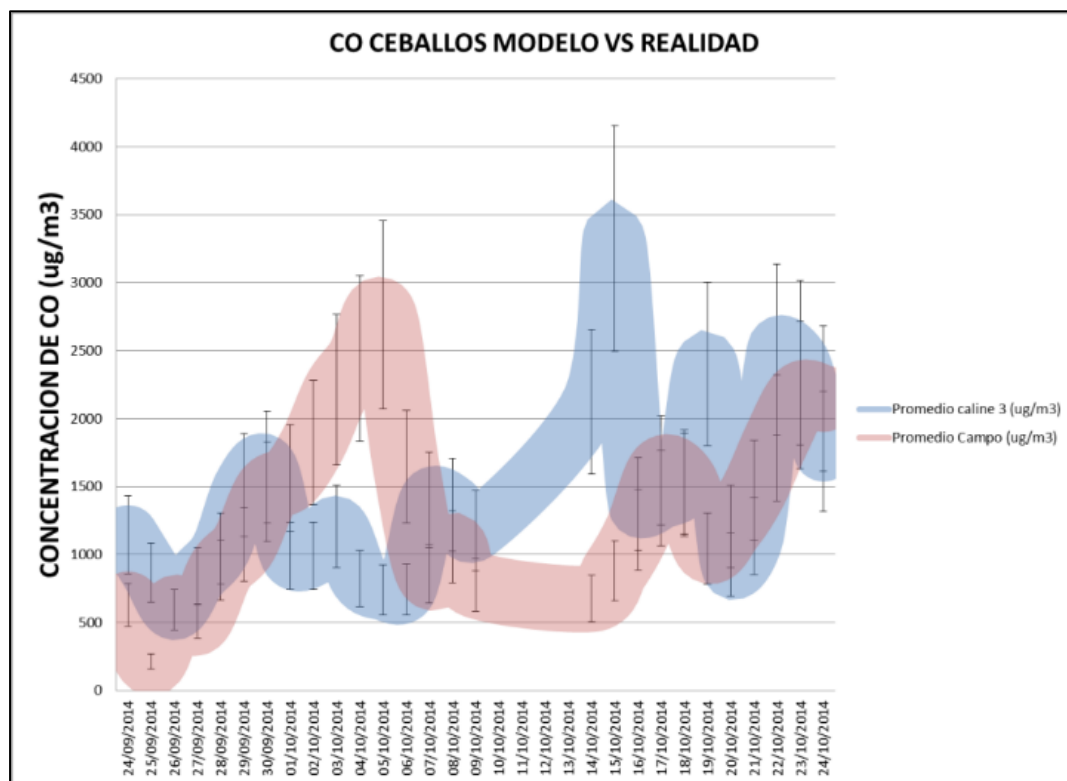
Grafico 32. Resumen Incidencia del flujo vehicular en la concentración de $PM_{2.5}$.



El grafico 33 representa la incidencia de la flota vehicular a lo largo del tiempo demostrando en gran medida, debido a las áreas comunes, que tiene una gran influencia al momento de aumentar y disminuir el monóxido de carbono, esto es debido a la gran

cantidad de vehículos pesados que transitan a diario y a la vez que no existían muchos obstáculos entre el instrumento y la vía.

Grafico 33. Comparación entre concentraciones de CAMPO Y SOFTWARE



6.5.2. Etapa 2: Incidencia del flujo vehicular por categoría vehicular.

Se realizó una comparación entre las categorías de vehículos para analizar la influencia de cada uno de estos en los sitios de muestreo.

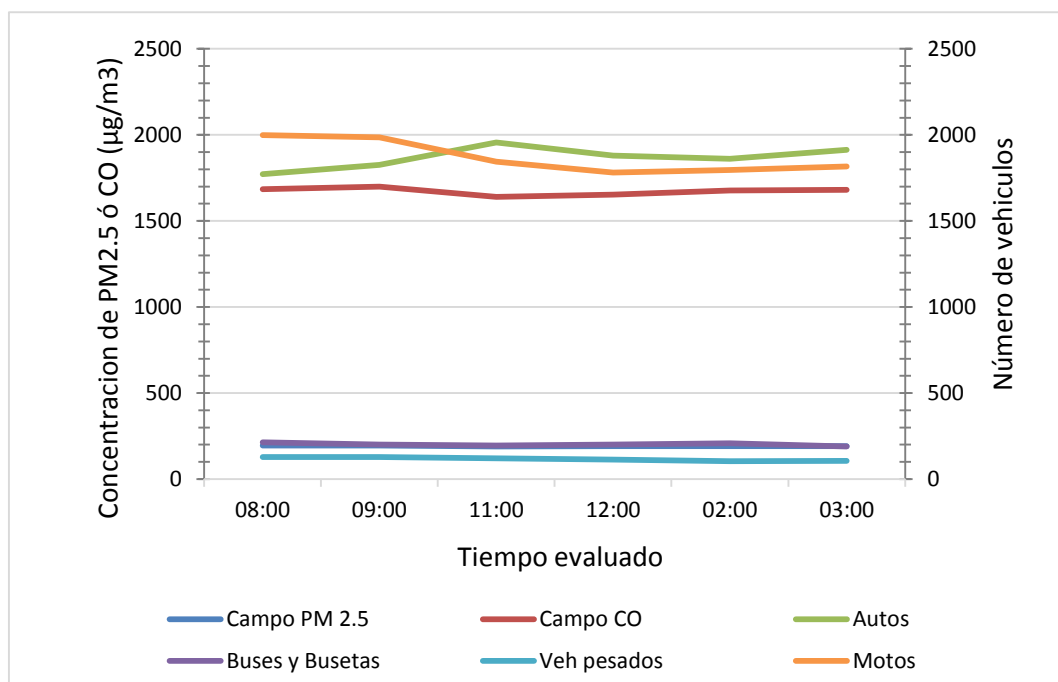
El gráfico 34 muestra el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes criterios CO y $\text{PM}_{2.5}$ además se observa el comportamiento de flujo vehicular en las horas 8:00, 9:00, 11:00, 12:00, 14:00 y 15:00 Durante el muestreo realizado en la Carretera de la Cordillada sector Bomba El Amparo. Como las variaciones se persiben mejor a menor

escala se amplió el gráfico para cada caso pertinente (a,b,c y d). Esto con el fin de observar directamente la correlación de las variables concentración de gases criterio (CO y PM_{2.5}) y número de vehículos por categoría.

En el caso **a** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentración de PM_{2.5}. Según este detalle, las motos y la concentración de partículas tienen variaciones casi idénticas de 8:00 a 15:00. Esto posiblemente se deba a que las motos tienen presencia constante en la vía, con lo cual se deduce que estas aportan de gran manera en la emisión de PM_{2.5}. En el caso **b** no se observa similitud tan alta como en expuesto anteriormente.

En el caso **c** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentración de CO. Según este detalle, los autos y la concentración de CO tienen variaciones parecidas en el tiempo más no en magnitud. El caso **d** muestra similitud en magnitud pero no en tiempo.

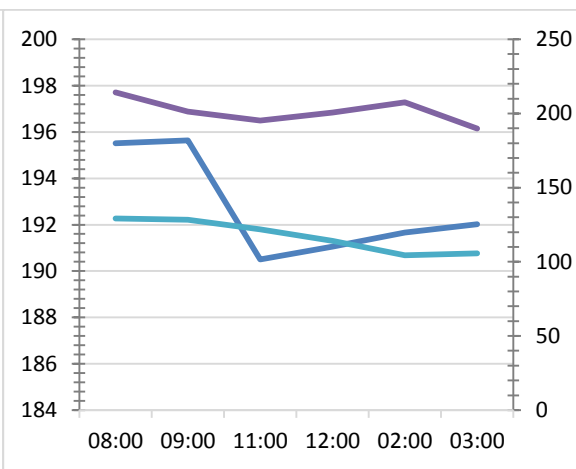
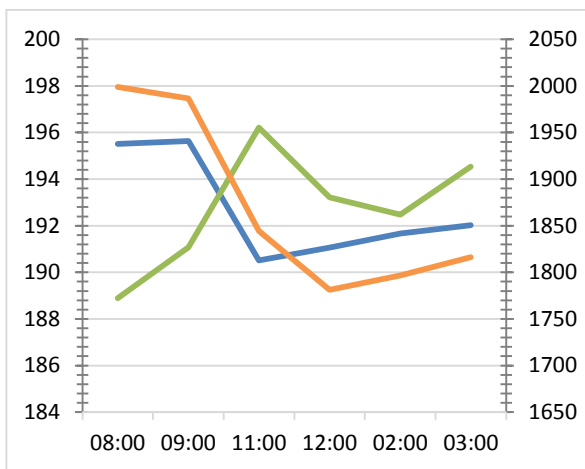
Gráfico 34: Análisis promedio de concentraciones de CO y PM_{2.5} en horas de aforo, Carretera de la Cordialidad Sector Bomba el Amparo.



Detalle del gráfico escala apropiada para PM_{2.5}.

a.

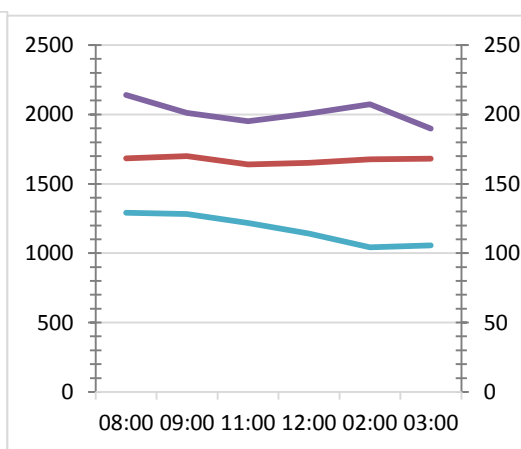
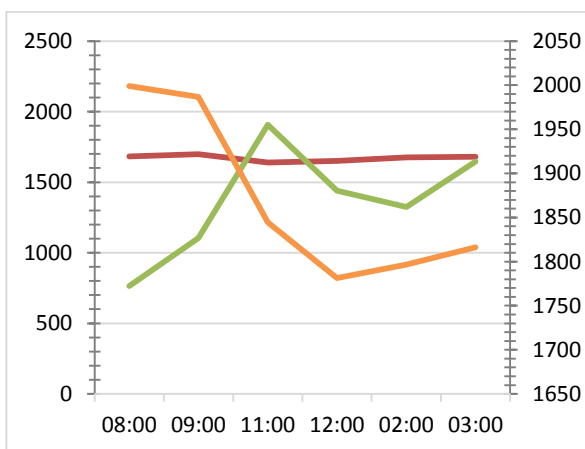
b.



Detalle del gráfico escala apropiada para CO.

c.

d.

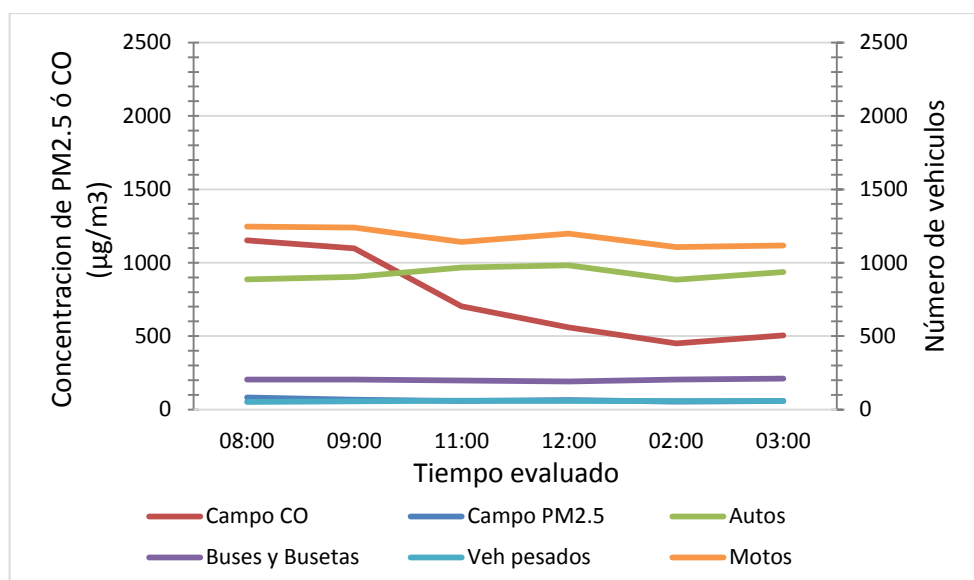


El gráfico 35 muestra el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes criterios CO y PM_{2.5} además se observa el comportamiento de flujo vehicular en las horas 8:00, 9:00, 11:00, 12:00, 14:00 y 15:00 Durante el muestreo realizado en la Av Pedro De Heredia Sector María auxiliadora. Como las variaciones se persiben mejor a menor escala se amplio el grafico para cada caso pertinente (a,b,c y d).

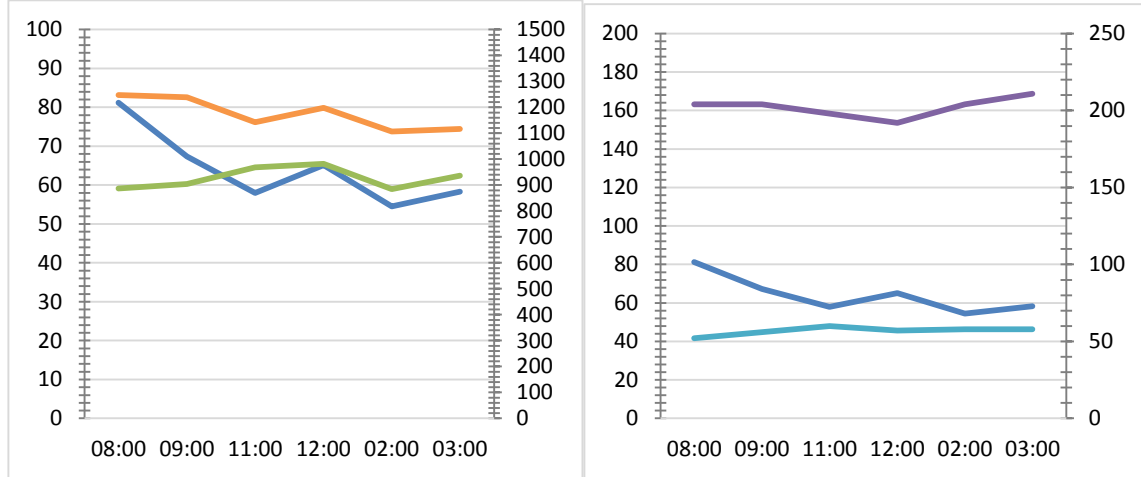
En el caso **a** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentracion de PM_{2.5}. Según este detalle, las motos y la concentración de partículas tienen variaciones casi idénticas. Esto posiblemente se deba a que las motos tienen presencia constante en la vía, con lo cual se deduce que estas aportan de gran manera en la emisión de PM_{2.5}. En el caso **b** no se observa similitud tan alta como en expuesto anteriormente.

En el caso **c** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentracion de CO. Según este detalle, las motos y la concentración de CO tienen variaciones similares de 8:00 a 11:00 y de 12:00 a 2:00 esto se debe posiblemente a la cantidad elevada de motos presentes en la vía. El caso **d** muestra poca similitud entre las variables graficadas.

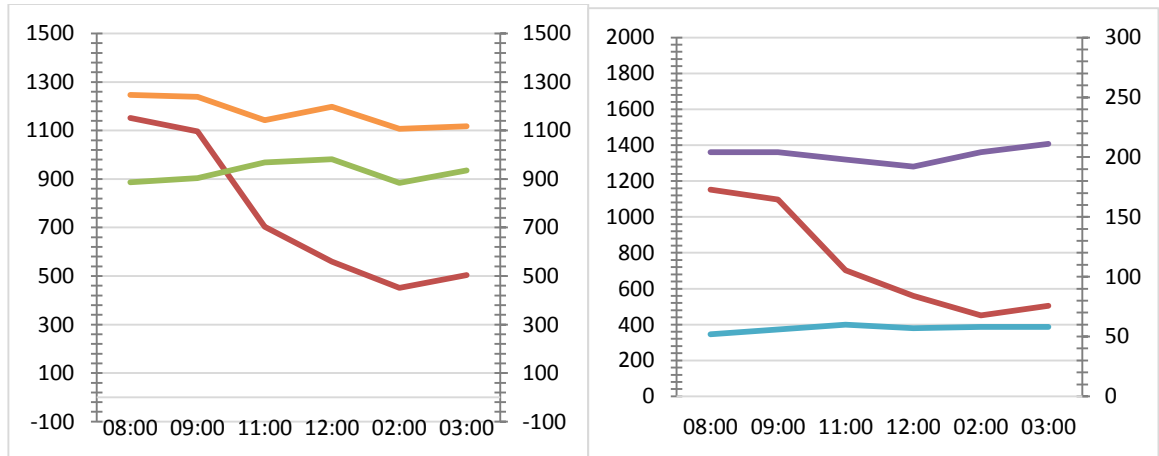
Gráfico 35: Análisis promedio de concentraciones de CO y PM_{2.5} en horas de aforo, Av Pedro De Heredia Sector María Auxiliadora.



Detalle del gráfico escala apropiada para PM_{2.5}.



Detalle del gráfico escala apropiada para CO₂.

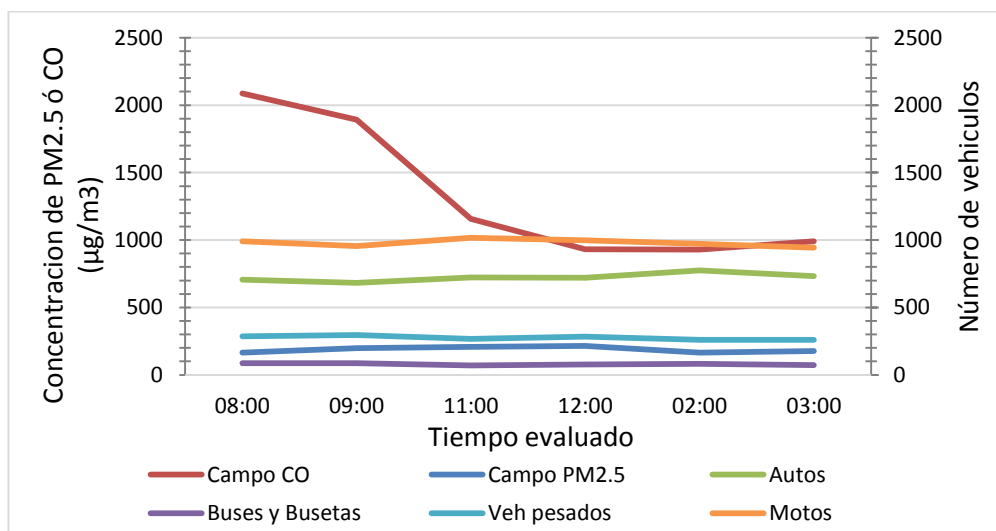


El gráfico 36 muestra el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes criterios CO y PM_{2.5} además se observa el comportamiento de flujo vehicular en las horas 8:00, 9:00, 11:00, 12:00, 14:00 y 15:00 Durante el muestreo realizado en el Corredor de Carga sector Ceballos. Como las variaciones se persiben mejor a menor escala se amplio el grafico para cada caso pertinente (a,b,c y d).

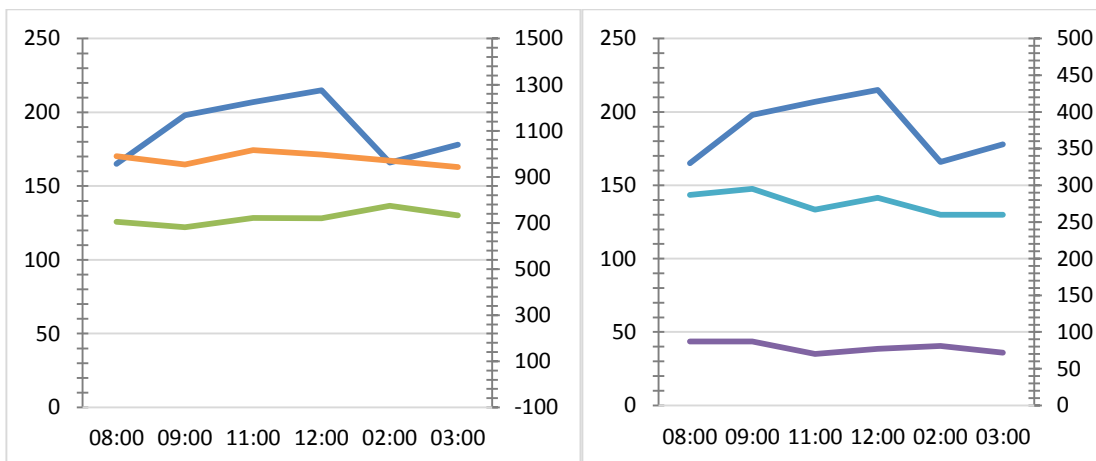
En el caso **a** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentración de PM_{2.5}. Según este detalle, las motos y los autos tienen poca similitud respecto a PM_{2.5}, al observar las gráficas de cerca, las motos de 9:00 a 11:00 y de 12:00 a 2:00 varían de igual forma en el tiempo. Esto posiblemente se deba a que las motos tienen presencia constante en la vía, por tanto estas aportan de gran manera en la emisión de PM_{2.5}. En el caso **b** no se observa similitud como la expuesta anteriormente.

En el caso **c** se observa la tendencia de las motos, autos y la concentración de CO. Según este detalle, las motos y la concentración de CO están totalmente desfasadas, los autos presentan similitud en algunas horas. El caso **d** muestra similitud de los buses-buses, vehículos pesados y la concentración de CO de 9:00 a 11:00.

Gráfico 36: Análisis promedio de concentraciones de CO y PM_{2.5} en horas de aforo, Corredor de carga sector Ceballos.



Detalle del gráfico escala apropiada para PM_{2.5}.



Detalle del gráfico escala apropiada para CO.

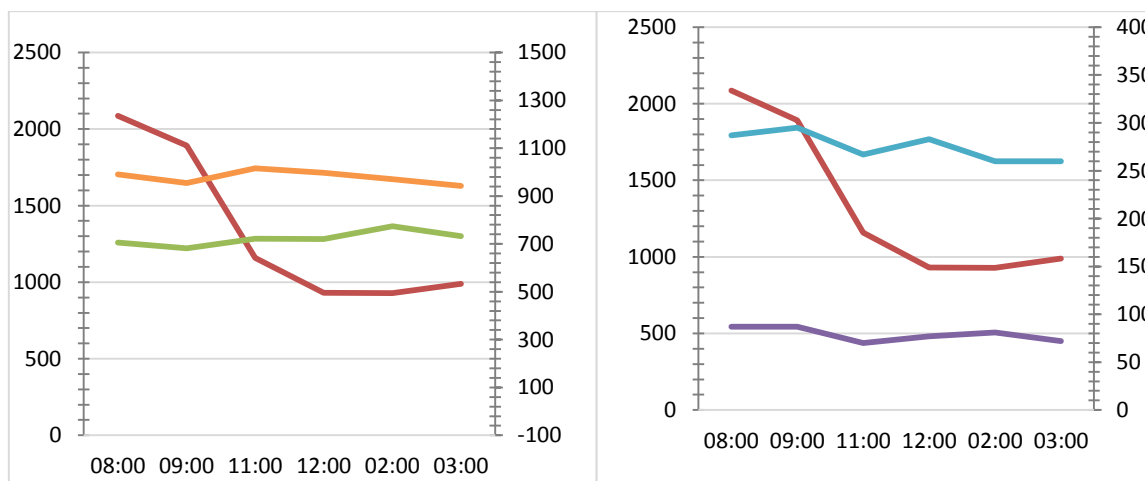
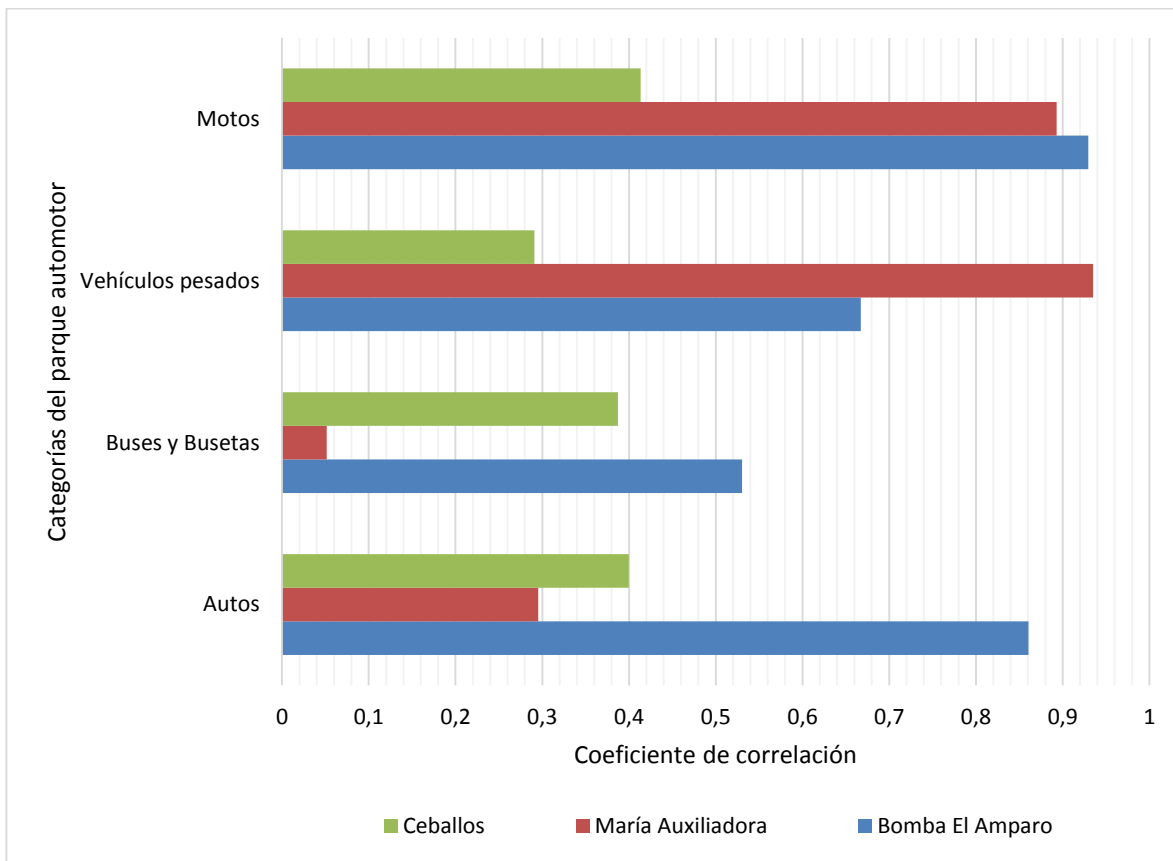


Grafico 37. Comportamiento entre tipo de vehículos para $PM_{2.5}$ en los tres sitios de monitoreo.

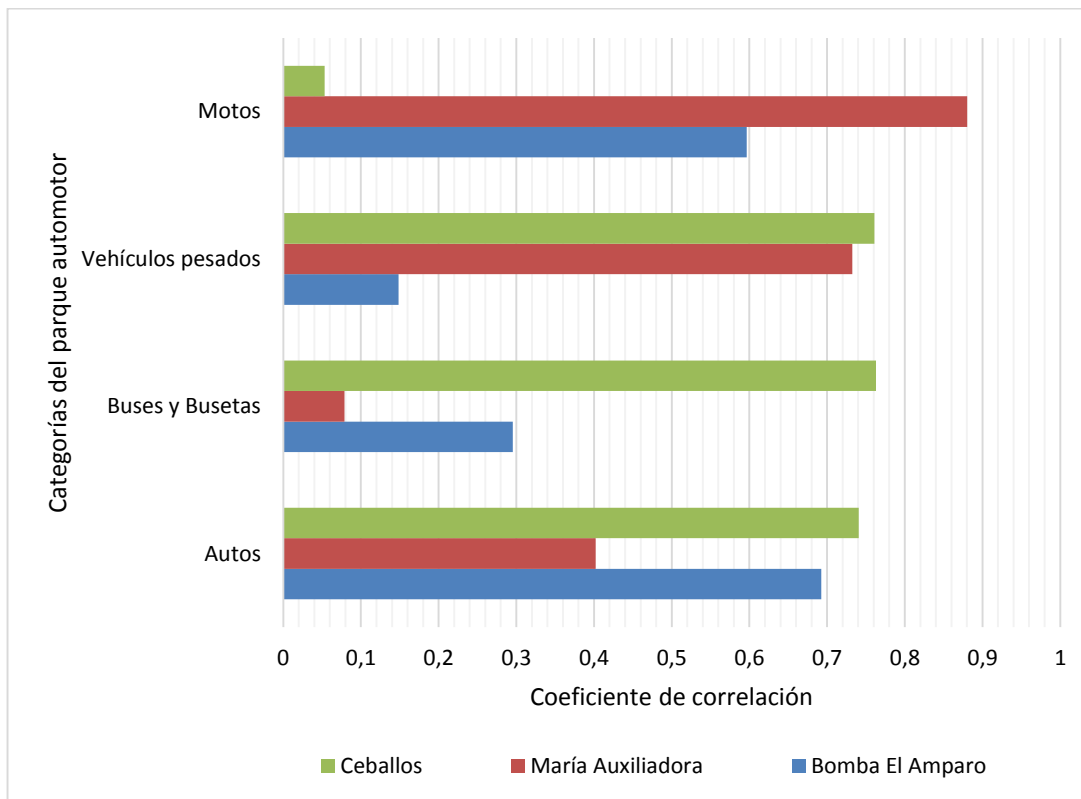


En la Carretera de la Cordialidad sector Bomba el Amparo se observó como los autos y las motos con coeficientes de correlacion de 0.86 y 0.92 respectivamente, son las categorías que mas se ajustan al comportamiento de la concentracion de $PM_{2.5}$ en este sector, como se ve en el gráfico 37. Esto concuerda con la teoría ya que las motos tienen un factor de emision de 0.34g/veh-milla comparado con los autos de 0.02 g/veh-milla, por tanto debido al gran numero de motos, esta categoría incide mas en la contaminación del aire por la emision de partículas. Es posible que el FE de los autos sea erroneo, por ser esta categoría la segunda que mas se ajusta a pesar de tener un FE tan bajo.

En la Av Pedro de Heredia Sector María Auxiliadora el grafico representa en gran porcentajes las motos y vehículos pesados con coeficientes de correlacion de 0.89 y 0.93 respectivamente, son las categorias con mayor ajuste al comportamiento de la concentracion de $PM_{2.5}$ en este sector como se observa en el grafico 37. Esto concuerda con la teoría debido a que los vehículos pesados poseen un mayor factor de emision 4.65 g/veh-milla comparado con las motos 0.34 g/veh-milla, afirmando que debido a su alta emision, es la categoria de los vehiculos pesados contiene un mayor incide en la contaminacion del aire por particulas. Sin embargo al ver el grafico 35 caso a se puede observar que las motos son las que realmente se ajustan al comportamiento de la concentracion de $PM_{2.5}$, debido al gran numero de estas presentes en la vía. Posiblemente estos vehículos al pasar a altas velocidades generan turbulencias que dispersan las particulas, aumentando la concentracion de las mismas.

En el corredor de carga sector Ceballos demuestra que todas las categorias poseen coeficientes de correlacion parecidos, destacando entre ellos los autos y motos con coeficientes de correlacion de 0.4 y 0.41 respectivamente. Estos son menores a 0.5, lo cual se interpreta como un comportamiento desigual a la concentracion de $PM_{2.5}$, por lo que el número de vehículos no se ajusta del todo, esto se observa con detalle en el grafico 36. Posiblemente a causa de otro factor que tenga mayor participacion en este lugar como la velocidad del viento, la direccion del viento e influencia de fuentes fijas.

Grafico 38. Comportamiento entre tipo de vehículos para CO en los tres sitios de monitoreo.



En la Carretera de la Cordialidad sector Bomba El Amparo discrimina como los autos y las motos con coeficientes de correlación de 0.69 y 0.59 respectivamente, son las categorías con mayor ajuste al comportamiento de la concentración de CO en la zona como se observa en el gráfico 38. Esto coincide con la teoría debido a que los autos poseen mayor factor de emisión 24.30g/veh-milla comparado con las motos 17.40g/veh-milla, por tanto es la categoría autos la más incidente en la concentración de CO de esta zona.

En la Av Pedro de Heredia Sector María Auxiliadora expone como las motos y vehículos pesados con coeficientes de correlación de 0.88 y 0.73 respectivamente, representan las categorías que más se ajustan al comportamiento de la concentración de CO en este sector, como se observa en el gráfico 35. Esto es concerniente a la teoría debido a que los vehículos pesados poseen un mayor factor de emisión siendo 130.16g/veh-milla comparado

con las motos que es de 17.4g/veh-milla, pero estas últimas presenta una mayor afluencia con 1022 comparado con los vehículos pesados de 277. Podemos afirmar que debido a su alto número, es la categoría de las motos la más incidente en la contaminación del aire por monóxido de carbono.

En el corredor de carga sector Ceballos presenta como los buses y vehículos pesados con coeficientes de correlación de 0.762 y 0.76 respectivamente, son las categorías con mayor ajuste al comportamiento de la concentración de CO en este sector, como se observa en el gráfico 38. Esto no es coherente con la teoría debido a que los vehículos pesados poseen un mayor factor de emisión de 142.41g/veh-milla comparado con los buses de 4.38g/veh-milla, además los vehículos pesados tienen mayor afluencia con 277 comparado con los buses siendo 81. Es posible que el factor de emisión de los buses y busetas sea mayor que el sugerido por el EPA, debido a que según los datos de campo, esta categoría a pesar de no ser la más activa en la zona, se ajusta al comportamiento de la concentración de CO igual que los vehículos pesados, donde estos presentan actividad constante y alto factor de emisión.

7. CONCLUSIONES

Es válido el uso de los softwares CALINE3 y CALINE4 utilizando los factores de emisión sugeridos por el EPA para los contaminantes de Monóxido de Carbono y Micro partículas, aun teniendo múltiples incertidumbres como la incidencia de fuentes fijas, la presencia de vías sin pavimentar, la inestabilidad del equipo de medición e información meteorológica a destiempo del monitoreo en cada sitio.

Se identificó y localizó los sitios de carácter crítico en la ciudad de Cartagena; estos son: Av Pedro de Heredia sector María Auxiliadora, Carretera de la cordialidad sector Bomba El Amparo y Corredor de carga Sector Ceballos. Se pudo deducir mediante una tabla de ponderación que estas vías eran las más indicadas para la investigación por sus características de seguridad, accesibilidad, influencias de fuentes fijas, modelaciones previas, barreras y obstáculos. Los puntos de muestreo en estas vías fueron respectivamente, Almacén créditos San Judas, Urgencias veterinarias Los Alpes y Asesorías y construcciones. Estos puntos fueron escogidos por presentar altas concentraciones en las modelaciones realizadas en CALINE3.

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado, se puede concluir que los 3 sitios de monitoreo están en caso de $PM_{2.5}$ incumpliendo los límites establecidos en la resolución 610 de 2010 superando en la mayoría de los días la concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones de monóxido de carbono en todos los sitios son inferiores al límite de $40000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cada hora establecidos en la norma, siendo el pico de $7000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ medido en el corredor de carga –Ceballos el más alto en toda la investigación.

Los resultados de las modelaciones de micro partículas ($PM_{2.5}$) mediante el uso de CALINE4 demuestran similitud con las gráficas de las concentraciones en campo, teniendo un porcentaje de error del 51,27% para un análisis por áreas comunes, siendo la Carretera de la Cordialidad - Bomba el amparo la más crítica. No se comparó los resultados de CO por la gran cantidad de incertidumbres que presentan, por lo cual esos datos son poco

veraces aunque si se analizó este contaminante debido a la sensibilidad que presentaba el instrumentos a los cambios de concentración en los lugares seleccionados siendo el más representativo la zona de la Carretera de la Cordialidad - Bomba el amparo debido a la Gráfica 15.

Al comparar con investigaciones anteriores, se puede observar que en caso de la Av Pedro de Heredia sector María auxiliadora, en el año 2010 en una vía secundaria se tuvo un registro de $PM_{2.5}$ igual a $67.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el presente estudio se obtuvo una muestra de $67.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por tanto existe una similitud en este lugar que nos lleva a pensar que a pesar de los cambios en la movilidad de Cartagena, la contaminación referente a este tipo de partículas se ha mantenido en ese tiempo. En el Corredor de carga sector Ceballos y Carretera de la cordialidad sector Bomba El Amparo, se afirma por los antecedentes, que la concentración de partículas con diámetros menores a 10 micrómetros (PM_{10}) en el 2010, han sobrepasado el límite establecido por la norma vigente. Actualmente, se presenta en esta investigación un resultado similar para partículas de diámetros menores a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$) en estos sitios.

Al analizar los coeficientes de correlación mostrados en los gráficos 37 y 38 para los contaminantes $PM_{2.5}$ y CO respectivamente, se observa que la categoría vehicular que tiene mayor ajuste al comportamiento de la concentraciones en todos los sitios de monitoreo, son las motos. Estas tienen coeficientes de correlación próximos y superiores a 0.7 en la mayoría de los casos. Los resultados mencionados son muy importantes porque demuestran que la categoría 'Motos' cuyo factor de emisión está dentro de la media, es la más incidente en la calidad de aire en la ciudad de Cartagena.

Se justificó la realización de este estudio en las zonas medidas debido al alto índice de afluencia vehicular en las vías para el cual no existía un estudio que demostrara que en ellas existe una calidad del aire crítica para el ambiente.

8. RECOMENDACIONES

El uso de meteorología de un año pasado, generó gran parte de las incertidumbres, por este motivo se recomienda el uso de estaciones meteorológicas durante el estudio en cuestión, para que los resultados puedan ser comparados con los datos de viento. Si se cumple esto, se podría conocer la verdadera incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire.

Los equipos de monitoreo ambiental, no se encontraban en su 100% de funcionalidad, esto generó poca credibilidad en los datos. Para evitar esto, se recomienda el uso de equipos en buen estado, también deberían tener mantenimiento especializado, por personal calificado.

Los factores de emisión utilizados por los softwares de modelación ambiental CALINE3 y CALINE4, son de vital importancia en el resultado final. Los factores utilizados, fueron los sugeridos por el establecimiento público ambiental (EPA) del año 2010. Por ser de ese año, están un poco desfasados con la realidad actual (2015). Se sabe que el volumen vehicular está en aumento constante, además de esto la ciudad de Cartagena estaba en un cambio drástico en su sistema de transporte (transcaribe), todo esto generó dudas en los factores de emisión seleccionados. Se recomienda el uso de factores de emisión más confiables y actuales hallados en estudios posteriores a este.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Universidad de Cartagena, Distrito de Cartagena. (2010). *Valoración de los niveles de riesgos ambientales en el distrito de Cartagena*. Cartagena.

EPA y cardique. (13 de septiembre de 2014). Obtenido de estudios realizados hasta el 31 de diciembre del 2010:

<http://www.cartagenacomovamos.org/contenidos/medioambiente.pdf>

ministerios de ambiente vivienda y desarrollo territorial. (14 de septiembre de 2014). Obtenido de miniambiente: <http://web2006.minambiente.gov.co:8091/Default2.aspx>

ASEPEYO. (30 de Julio de 2012). *Prevencionar.com*. Obtenido de

[http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAQ0712105%20Instrumentos%20de%20Medicion%20y%20Muestreo.pdf/\\$file/HAQ0712105%20Instrumentos%20de%20Medicion%20y%20Muestreo.pdf](http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAQ0712105%20Instrumentos%20de%20Medicion%20y%20Muestreo.pdf/$file/HAQ0712105%20Instrumentos%20de%20Medicion%20y%20Muestreo.pdf)

ATSDR. (2012). ToxFAQs. *Division de Toxicología y ciencias de la Salud*.

Bagieński, Z. (14 de Octubre de 2014). Traffic air quality index. *Science of the Total Environment*, 606-614.

BASICA, M. (s.f.). Obtenido de <http://meteobasica.blogspot.com/2010/12/presion-atmosferica-y-vientos.html>

Basica, M. (2015). Obtenido de <http://meteobasica.blogspot.com/2010/12/presion-atmosferica-y-vientos.html>

Cartagena Como Vamos. (2012). *MOVILIDAD EN CARTAGENA A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DE CCV*. Cartagena.

Castro, F. (10 de Octubre de 2011). *Buenas Tareas*. Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Movilidad-En-Cartagena/1455979.html>

CCV. (2011). *www.cartagenacomovamos.org*.

CEPIS. (2015). Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/prologo.html

Chang, R. (1997). *Química*. Mc Graw- Hill.

Chelsea Day, A. M. (9 de septiembre de 2014). Obtenido de Enfermedades causadas por la contaminación del aire: http://www.ehowenespanol.com/enfermedades-causadas-contaminacion-del-aire-sobre_88624/

CIEMAT. (s.f.). *Web Española sobre modelización de la contaminación atmosférica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. Obtenido de <http://www.ciemat.es/MCAportal/>

DANE. (2012). *DANE*. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/>

EcuRed. (s.f.). Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Velocidad_del_viento

ECV. (2013). *Como Vamos Cartagena*. Cartagena.

El Universal. (5 de Octubre de 2011). Recuperado el 15 de Octubre de 2014

El Universal Cartagena De indias. (5 de Octubre de 2011). Recuperado el 15 de Octubre de 2014

Fedesarrollo. (22 de Noviembre de 2012). *Infraestructura de Transporte en Colombia: ¿luz al final del tunel? Cartagena, Bolivar, Colombia*.

Fernández, A. R. (Octubre de 2011). *Cálculo de las emisiones contaminantes producidas por el tráfico rodado mediante el modelo de dispersión atmosférica caline 4*. Madrid, Leganés, España.

Fernández, A. R. (Octubre de 2011). *CÁLCULO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR EL TRÁFICO RODADO MEDIANTE EL MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA CALINE 4*. Madrid, Leganés, España.

Gasteiz, V. (Marzo de 2007). *Estudio de movilidad y espacio público*.

INECC. (5 de 7 de 2013). <http://www.inecc.gob.mx>. Recuperado el 25 de 11 de 2014

INECC. (5 de Julio de 2013). *SEMARNAT*. Recuperado el 24 de Agosto de 2015, de <http://www.inecc.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>

Instituto nacional de ecología. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Tlalpal, México.

JUSTICIA, R. (16 de 12 de 2013). *ElTiempo.com*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13290531>

- Kai Zhang, S. B. (Abril de 2011). Emisiones de los vehículos en la congestión: Comparación de la zona de trabajo, las horas pico y las condiciones de flujo libre. *Atmospheric Environment*, 1929 a 1939.
- Kai Zhang, S. B. (2011). Vehicle emissions in congestion: Comparison of work zone, rush hour and free-flow conditions. *Atmospheric Environment*, 11.
- Kai Zhang, S. B. (13 de Abril de 2013). La contaminación del aire y los riesgos de salud debido a la circulación de vehículos. *Ciencias del medio ambiente total*, 307-316.
- M. Victoria. Toro G., J. J. (2001). CÁLCULO DE LA EMISIÓN vehicular de Contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR. *Grupo de Investigaciones Ambientales-GIA*, 8.
- Meteorología Básica. (10 de Octubre de 2015). Obtenido de <http://meteobasica.blogspot.com.co/2010/10/radiacion-solar-entrante.html>
- Ministerio de ambiente. (15 de Octubre de 2014). *MinAmbiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php>
- Ministerio de ambiente. (24 de Marzo de 2010). *Alcaldia Bogota*. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39330>
- Mónica Eljaiek Urzola, M. D. (2010). En *valoracion de los niveles de riesgo ambientales en el distrito de cartagena* (pág. 27). cartagena.
- Montezuma, R. (2007). *Alternativas en movilidad urbanma*.
- Moragues, D. J. (24 de Agosto de 2015). *CEIUCAWeb*. Obtenido de <http://www.ceiucaweb.com.ar/documentos/2-ambiental/3er-anio-1er-cuatri/meteorologia/apunte/capa%20de%20mezcla.pdf>
- OSMAN. (s.f.). Obtenido de <http://www.osman.es/ficha/11937>
- Pais, D. E. (10 de 7 de 2013). *www.elpais.com.co*.
- Saldarriaga, A. (2007). *Macroproyectos de movilidad urbana y la construcción de la ciudad*. Bogotá.
- Sánchez J, U. J. (2013). Niveles de Contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia. *Revista de la Universidad Industrial de Santander.*, 10.
- Sanz, M. V. (2009). Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://roble.pntic.mec.es/mvas0022/elementosclima.html>

- SIAC. (2010). *SIAC Sistema de informacion ambiental de Colombia*. Recuperado el 15 de Agosto de 2014
- SIAC. (25 de AGOSTO de 2015). Obtenido de
<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=827&conID=1277>
- Stuart Batterman, K. Z. (Abril de 2011). Emisiones de los vehículos en la congestión: Comparación de la zona de trabajo, las horas pico y las condiciones de flujo libre. *Atmospheric Environment*, 1929 a 1939.
- Suarez Christian & Alies Abraham. (2013). *Análisis de la Incidencia del Tráfico mixto con motocicleta en la movilidad sobre la Avenida Pedro de Heredia de la ciudad de Cartagena de Indias D. T. y C. mediante estudios primarios y modelación con software PTV VISSIM*. Cartagena.
- Tapia de Oro & Tatis. (2004). *Estudio para medir la influencia de las motocicletas en la operación de las principales arterias de la ciudad de Cartagena*. Cartagena.
- Thermo Scientific. (s.f.). Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de
<https://www.thermoscientific.es/product/model-48-i-i-i-co-analyzer.html>
- Thermo Scientific. (26 de Mayo de 2006). Model 48i high level instruction manual. Alemania.
- Thermo Scientific. (20 de Diciembre de 2007). Model 42i Trace Level Instruction Manual. Alemania.
- Thermo Scientific. (14 de Junio de 2008). Model 43i Instruction Manual. Alemania.
- tiempo, L. m. (16 de 1 de 2011). *blogspot.com*. Recuperado el 25 de 11 de 2014, de
<http://lahistoriadelostransportes.blogspot.com/2011/01/el-perfeccionamiento-de-los-medios-de.html>
- UDC. (2010). *Valoración de niveles de riesgos ambientales en el distrito de Cartagena*. Cartagena.
- Universidad de Pinar del Río. (2010). Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de
<http://www.monografias.com/trabajos81/comportamiento-variables-meteorologicas-secundarias/comportamiento-variables-meteorologicas-secundarias.shtml>
- Vázquez, D. R. (Diciembre de 2011). Método Propuesto para Estimar la Altura de Capa de Mezcla en la Atmósfera, con ayuda de la Aviación. *Conciencia Tecnológica*, 1-5.
- Wikipedia, F. (25 de Febrero de 2014). *Wikipedia*. Recuperado el 26 de Febrero de 2014, de
Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad>

ANEXOS 1

- Ejecución del símbolo de sistema para Caline3 en la fase 2

```
ca. C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
C:\Users\Usuario>
```

- Ruta del software CALINE 3 en el disco duro

```
ca. Símbolo del sistema - cmd
Microsoft Windows [Versión 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Acer>cmd
Microsoft Windows [Versión 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Acer>cd ..
C:\Users>cd ..
C:\>cd caline3_32_
```

- Orden al ejecutable para guardar el archivo en .log

```
ca. Símbolo del sistema - cmd
Microsoft Windows [Versión 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Acer>cmd
Microsoft Windows [Versión 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\Acer>cd ..
C:\Users>cd ..
C:\>cd caline3_32
C:\caline3_32>salida.log_
```

ANEXOS 2

Ubicación de los receptores, para cada uno de los seis sitios seleccionados según las direcciones del viento.

Corredor de Carga - Ceballos



Fuente: Google Earth

Avenida del Lago



Fuente: Google Earth

Avenida San Martín – Base Naval



Fuente: Google Earth

Carretera La Cordialidad – Bomba el Amparo



Fuente: Google Earth

. Avenida Pedro De Heredia – Sector María Auxiliadora



Fuente: Google Earth

Avenida Pedro De Heredia – Mercado de Bazurto



Fuente: Google Earth

ANEXOS 3

- Información de aforos y factores de emisión para la fase 4

AFOROS CARRETERA DE LA CORDIALIDAD				
CARRIL	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
1	954	139	40	846
2	747	71	61	755
3	392	12	28	496
TOTAL	2093	222	129	2097

FACTOR DE EMISION BOMBA EL AMPARO				
Factor de Emisión	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
PM 2.5 gm/ve	0.01	6.11	2.89	0.21
CO gm/veh-kr	15.1	2.72	88.49	10.81
PM 2.5 gm/ve	0.02	9.83	4.65	0.34
CO gm/veh-m	24.30	4.38	142.41	17.40

AFOROS AV PEDRO HEREDIA SECTOR MARÍA AUX				
VÍA	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
calle 30	400	16	23	432
calle 31a	531	191	38	746
TOTAL	931	207	61	1178

FACTOR DE EMISIÓN SECTOR MARÍA AUXILIADORA				
Factor de Emisión	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
PM 2.5 gm/veh	0.01	6.11	2.89	0.21
CO gm/veh-kr	12.58	2.72	80.88	10.81
PM 2.5 gm/veh	0.02	9.83	4.65	0.34
CO gm/veh-m	20.25	4.38	130.16	17.40

AFOROS CORREDOR DE CARGA - CEBALLOS PROMEDIO HORARIO				
CARRIL	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
1	226	20	83	218
2	304	15	172	331
3	195	46	22	473
TOTAL	725	81	277	1022

FACTOR DE EMISIÓN CEBALLOS				
Factor de Emisión	Autos	Buses y Busetas	Vehículos pesados	Motos
PM 2.5 gm/veh	0.01	6.11	2.89	0.21
CO gm/veh-kr	15.1	2.72	88.49	10.81
PM 2.5 gm/veh	0.02	9.83	4.65	0.34
CO gm/veh-m	24.30	4.38	142.41	17.40

ANEXOS 4

-Formato para Realizar aforos vehiculares

	autos	buses	vehiculos	motos
08:00				
08:05				
08:10				
08:15				
08:20				
08:25				
08:30				
08:35				
08:40				
08:45				
08:50				
08:55				
09:00				
09:05				
09:10				
09:15				
09:20				
09:25				
09:30				
09:35				
09:40				
09:45				
09:50				
09:55				
10:00				
10:05				
10:10				
10:15				

INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE.

	autos	buses	vehiculos	motos
11:00				
11:05				
11:10				
11:15				
11:20				
11:25				
11:30				
11:35				
11:40				
11:45				
11:50				
11:55				
12:00				
12:05				
12:10				
12:15				
12:20				
12:25				
12:30				
12:35				
12:40				
12:45				
12:50				
12:55				
13:00				
13:05				
13:10				
13:15				

	autos	buses	vehiculos	motos
14:00				
14:05				
14:10				
14:15				
14:20				
14:25				
14:30				
14:35				
14:40				
14:45				
14:50				
14:55				
15:00				
15:05				
15:10				
15:15				
15:20				
15:25				
15:30				
15:35				
15:40				
15:45				
15:50				
15:55				