UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

"ANÁLISIS, MODELACIÓN Y PREDICCIÓN DEL MONÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA URBANA DE MEXICALI, B. C."

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

JOSÉ GUADALUPE LANDEROS VALADEZ

DIRECTOR:

DR. ONOFRE RAFAEL GARCÍA CUETO

CO-DIRECTOR

DR. MARGARITO QUINTERO NÚÑEZ

Mexicali, B. C. **SEPTIEMBRE DE 2014**

DEDICATORIA

A mi esposa **Mary**, quien en su infinito amor, me demuestra cada día el valor del esfuerzo.

A mis hijos, **Enid, Mariana** y **Andrés**, quienes en su crecer constante me regalan su amor desinteresado.

A mis padres, **Antonieta** y **Refugio**, quienes me mostraron el camino del trabajo y esfuerzo constante.

A mis **familiares** y **amigos** quienes me han escuchado hablar de este tema una y otra vez.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, **Dr. Rafael O. García Cueto** y **Dr. Margarito Quintero Núñez**, quienes me guiaron para el logro de esta meta.

A mis revisores, **Dra. Sara Ojeda Benítez, Dr. Moisés Galindo Duarte y Dr. Néstor Santillán Soto**, por su apoyo para concluir este proceso.

Al personal de Tracer ES & T, **Don Chrsitopherson, Paul Shafer**, y **Jim Stirling**, quienes me apoyaron en todo momento con el manejo de las estaciones y los datos de las mismas.

A los **docentes**, que de una u otra manera influyeron para obtener el resultado de este estudio.

Al **CONACYT**, por su apoyo a la investigación en México.

ÍNDICE.

ÍNDICE DE IMÁGENES *i*

ÍNDICE DE TABLAS *ii*

ÍNDICE DE GRÁFICAS *iii*

ÍNDICE DE FIGURAS *v*

RESUMEN vii

1.- INTRODUCCIÓN 1

1.1 ANTECEDENTES 3

1.2 PROBLEMÁTICA 8

1.3 HIPÓTESIS 13

1.4 OBJETIVO GENERAL 13

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

1.6 JUSTIFICACIÓN 13

2.- MARCO DE REFERENCÍA 20

2.1 EL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B. C 20

2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA REGIÓN 23

2.3 POBLACIÓN 25

2.4 MEDIO FÍSICO Y NATURAL 26

2.5 MEDIO FÍSICO TRANSFORMADO 29

2.6 URBANISMO Y VIALIDAD 31

3.- EL MONÓXIDO DE CARBONO 37

3.1 FUENTES DE *CO* 38

3.1.1 LOS VEHÍCULOS COMO FUENTE DE EMISIÓN DE *CO* 40

3.2 TOXICOLOGÍA DEL *CO* 42

3.3 EFECTOS EN LA SALUD 43

3.4 PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL *CO* 44

3.5 EL *CO* Y SU RELACIÓN CON VARIABLES METEOROLÓGICAS 45

3.5.1 TEMPERATURA DEL AIRE 45

3.5.2 VIENTO 46

3.5.2.1 VELOCIDAD DEL VIENTO 47

3.5.2.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO 47

3.5.3 ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 47
3.5.4 INVERSIONES TÉRMICAS 48
3.6 MODELOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DEL CO 48
3.7 MODELOS SEGÚN LA SECRETARÍA DE MONITOREO AMBIENTAL DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL 52
3.8 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA 54
3.9 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL 55
3.9.1 ANÁLISIS LINEAL SIMPLE 56
3.9.2 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE 57
3.10 SERIES DE TIEMPO 57
3.11 TÉCNCA ARIMA 59

4.- MATERIALES Y MÉTODO 61
4.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE CO Y METEOROLÓGICOS 61
4.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN 62
4.3 ANÁLISIS ESPACIAL DEL CO 63
4.4 ELABORACIÓN DE ROSAS DE VIENTO 63
4.5 AFOROS VEHICULARES 63
4.6 ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD 64
4.7 ESTIMACIÓN DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS 66
4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE 66
4.9 SERIES DE TIEMPO 68
4.9.1 TÉCNICA ARIMA 68
4.9.1.2 FASE DE IDENTIFICACIÓN 68
4.9.1.2 ESTIMACIÓN DE PARAMETROS 69
4.9.2 FASE DE PRONÓSTICO 69

5.- RESULTADOS 70
5.1 ANÁLISIS TEMPORAL DEL CO Y SU RELACIÓN CON OTRAS VARIABLES 70
5.2 ANÁLISIS ESPACIAL DEL CO 78
5.3 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DEL CO 82
5.4 ANÁLISIS ANUAL DEL CO PARA EL AÑO 2004 83
5.5 ANÁLISIS MENSUAL DEL CO PARA EL AÑO 2004 84
5.5.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MULTIPLE 96

5.6 OTRAS VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL *CO* 102
5.6.1 AFOROS VEHICULARES 102
5.6.2 ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 105
5.7 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE DE UN EPISODIO DE *CO* 109
5.8 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO 115
5.8.1 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ARIMA AL *CO* 115
5.8.1.1 FASE DE IDENTIFICACIÓN 115
5.8.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS 123
5.8.3 FASE DE PRONÓSTICO, TÉCNICA ARIMA 124
5.8.4 ANÁLISIS DE RESIDUALES 131

6.- CONCLUSIONES 133

7.- PRODUCTO DE LA INVESTIGACION 139

8.- REFERENCIAS 140

ANEXOS. 144

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 1. Apariencia del Bulevar Lázaro Cárdenas y Vialidad del Río Nuevo, captada el 5 de diciembre de 2007 a las 7:30 de la mañana.....7
Imagen 2 Tráfico por Bulevar Lázaro Cárdenas donde además se aprecia una pluma de humo.....9
Imagen 3. Contaminación apreciada el día 17 de Diciembre de 2007, por Bulevar Benito Juárez Frente a la UABC.....15
Imagen 4. Diferentes tipos de vehículos contaminando visiblemente, imágenes captadas en diferentes vialidades de la ciudad.....22
Imagen 5. Distribuidor vial.....32
Imagen 6. Paso a desnivel, Bulevar Lázaro Cárdenas y Benito Juárez.....32
Imagen 7, Puerto de entrada al Centro de Calexico (Garita vieja).....35
Imagen 8. Puerto de entrada Este a Calexico (Garita nueva).....35
Imagen 9. Ubicación de las estaciones de monitoreo.....61

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Valores Normados para los Contaminantes Criterio....8
Tabla 2. Días que se rebasa el valor de la norma para CO (11 ppm, promedio móvil de 8 horas)....14
Tabla 3. Usos de suelo....29
Tabla 4. Normas para el CO....37
Tabla 5. Propiedades físicas del CO....44
Tabla 6. Modelos relacionados al CO....50
Tabla 7. Modelos utilizados por la Secretaría de Monitoreo Ambiental del Gobierno del Distrito Federal....52
Tabla 8. Estimación inicial de estabilidad....64
Tabla 9. Ajuste por velocidad del viento para usar con tabla 8....64
Tabla 10. Estadísticas descriptivas para las máximas de CO por estación....82
Tabla 11. Estadísticas descriptivas para Enero de 2004 en UABC, ITM y COBACH....89
Tabla 12. Estadísticas descriptivas para julio de 2004....95
Tabla 13. Regresión múltiple para enero de 2004 en UABC....96
Tabla 14. Regresión múltiple para enero de 2004 en ITM....97
Tabla 15. Regresión múltiple para enero de 2004 en COBACH....98
Tabla 16. Regresión múltiple para julio de 2004 en UABC....100
Tabla 17. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en UABC....106
Tabla 18. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en ITM....107
Tabla 19. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en COBACH....108
Tabla 20. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en UABC....110
Tabla 21. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en ITM....111
Tabla 22. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en COBACH....113
Tabla 23. Resultados de la técnica ARIMA en UABC....122
Tabla 24. Resultados de la técnica ARIMA en ITM....123
Tabla 25. Resultados de la técnica ARIMA en COBACH....123

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1. Comparativo de CO entre los años 2000 y 2005....11
Gráfica 2. Máximas mensuales mes a mes de CO, 2000-2005....16
Gráfica 3. Tendencia poblacional de Mexicali y Calexico (1930-2005)....24
Gráfica 4. Máximas de CO vs TA....69
Gráfica 5. Máximas de CO vs VV....70
Gráfica 6. Máximas de CO para 2000 y 2005....77
Gráfica 7. Máximas de CO por estación, diciembre de 2000 y 2005....80
Gráfica 8. Máximas de CO por estación, Julio de 2000 y 2005....81
Gráfica 9. Máximas de CO vs TA el año 2004 en la UABC....83
Gráfica 10. Máximas de CO vs VV en el año 2004 en la UABC....83
Gráfica 11. Co vs TA, enero de 2004 en UABC....85
Gráfica 12. CO vs VV, enero de 2004 en UABC....85
Gráfica 13. CO vs TA en julio de 2004 en UABC....87
Gráfica 14. CO vs VV para julio de 2004 en UABC....87
Gráfica 15. CO vs. TA, UABC....89
Gráfica 16. CO vs TA, ITM....89
Gráfica 17. CO vs TA, COBACH....90
Gráfica 18. CO vs. VV, UABC....90
Gráfica 19. CO vs VV, ITM....90
Gráfica 20. CO vs VV, COBACH....91
Gráfica 21. Distribución Normal de CO en UABC, Enero 2004....91
Gráfica 22. Distribución Normal de CO en ITM, Enero 2004....91
Gráfica 23. Distribución Normal de CO en COBACH, Enero 2004....92
Gráfica 24. Distribución Normal de VV en UABC, Enero 2004....92
Gráfica 25. Distribución Normal de VV en ITM, Enero 2004....92
Gráfica 26. Distribución Normal de VV en COBACH, Enero 2004....93
Gráfica 27. Distribución Normal de TA en UABC, Enero 2004....93
Gráfica 28. Distribución Normal de TA en ITM, Enero 2004....93
Gráfica 29. Distribución Normal de TA en COBACH, Enero 2004....94
Gráfica 30. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, Enero 2004 UABC....96
Gráfica 31. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, Enero 2004 ITM....97
Gráfica 32. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, Enero 2004 COBACH....99
Gráfica 33. Distribución de los valores normales esperados VS residuales....100
Gráfica 34. Aforo por el Blv. Benito Juárez, frente a la UABC....102
Gráfica 35. Aforo por la Calle 11, frente al COBACH....103
Gráfica 36. Aforo por Blv. Lázaro Cárdenas, frente al acceso al ITM....104
Gráfica 37. Distribución de los valores normales esperados VS residuales....110
Gráfica 38. Distribución de los valores normales esperados VS residuales....112
Gráfica 39. Distribución de los valores normales esperados VS residuales....113
Gráfica 40. Distribución de los valores promedio diarios de CO en UABC....115
Gráfica 41. Distribución de los valores promedio diarios de CO en ITM....115
Gráfica 42. Distribución de los valores diarios de CO en COBACH....115
Gráfica 43. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en UABC....116
Gráfica 44. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en UABC....116
Gráfica 45. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en COBACH....116
Gráfica 46. Ajuste para ln con lag 1 en UABC....117
Gráfica 47. Ajuste para ln con lag 1 en ITM....117
Gráfica 48. Ajuste para ln con lag 1 en COBACH....118
Gráfica 49. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en UABC....119
Gráfica 50. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en ITM....119
Gráfica 51. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en COBACH....120
Gráfica 52. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en UABC....121
Gráfica 53. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en ITM....121
Gráfica 54. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en COBACH....122

Gráfica 55. Predicción de CO para verano en UABC.....124
Gráfica 56. Predicción de CO para verano en ITM.....125
Gráfica 57. Predicción de CO para verano en COBACH.....126
Gráfica 58. Predicción de CO para invierno en UABC.....127
Gráfica 59. Predicción de CO para invierno en ITM.....127
Gráfica 60. Predicción de CO para invierno en COBACH.....128

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Topografía de la región....23
Figura 2. Mexicali y Calexico....23
Figura 3. Rosas de viento para Enero y Julio de 2004....27
Figura 4. Parques Industriales en la ciudad de Mexicali....30
Figura 5. Emisiones de un vehículo....40
Figura 6. Molécula de CO....43
Figura 7. Diagrama de los programas utilizados....66
Figura 8. Rosa de vientos en la estación UABC Enero (2000-2005)....71
Figura 9. Histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Enero (2000-2005)....71
Figuras 10. Rosa de vientos en la estación COBACH Enero(2000-2005)....71
Figuras 11. Histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Enero(2000-2005)....71
Figuras 12. Rosa de vientos la estación ITM Enero (2000-2005)....72
Figuras 13. Histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Enero (2000-2005)....72
Figuras 14. Rosa de vientos en la estación UABC Abril (2000-2005)....72
Figuras 15. Histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Abril (2000-2005)....72
Figuras 16. Rosa de vientos en la estación ITM Abril (2000-2005)....73
Figuras 17. Histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Abril (2000-2005)....73
Figuras 18. Rosa de vientos en la estación COBACH Abril (2000-2005)....73
Figuras 19. Histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Abril (2000-2005)....73
Figuras 20. Rosa de vientos en la estación UABC Julio (2000-2005)....74
Figuras 21. Histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Julio (2000-2005)....74
Figuras 22. Rosa de vientos en la estación ITM Julio (2000-2005)....74
Figuras 23. Histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Julio (2000-2005)....74
Figuras 24. Rosa de vientos en la estación COBACH Julio (2000-2005)....75
Figuras 25. Histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Julio (2000-2005)....75
Figuras 26. Rosa de vientos en la estación UABC Octubre (2000-2005)....76
Figuras 27. Histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Octubre (2000-2005)....76
Figuras 28. Rosa de vientos en la estación ITM Octubre (2000-2005)....76
Figuras 29. Histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Octubre (2000-2005)....76
Figuras 30. Rosa de vientos en la estación COBACH Octubre (2000-2005)....77
Figuras 31. Histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Octubre (2000-2005)....77
Figura 32. Distribución espacial del CO para 2000 – 2005....78
Figura 33. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2000....79
Figura 34. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2001....79
Figura 35. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2002....79
Figura 36. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2003....79
Figura 37. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2004....79
Figura 38. Distribución espacial del CO en Diciembre de 2005....79
Figura 39. Distribución espacial del CO en Julio de 2000....79
Figura 40. Distribución espacial del CO en Julio de 2005....79
Figura 41. Distribución espacial del CO en el mes de Enero de 2004....84
Figura 42. Rosa de vientos Enero de 2004 en UABC....86
Figura 43. Histograma para Enero de 2004 en UABC....86
Figura 44. Distribución espacial del CO en Julio de 2004....86
Figuras 45. Rosa de vientos en la estación UABC para Julio de 2004....88
Figuras 46. Histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC para Julio de 2004....88
Figura 47. Autocorrelación para ln en la serie de UABC....117
Figura 48. Autocorrelación para ln en la serie de ITM....117
Figura 49. Autocorrelación para ln en la serie de COBACH....117
Figura 50. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de UABC....118
Figura 51. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de ITM....118
Figura 52. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de COBACH....119
Figura 53. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en UABC....120
Figura 54. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en ITM....120
Figura 55. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en COBACH....121

Figura 56. Autocorrelación de los valores observados VS pronosticados en UABC.....129
Figura 57. Autocorrelación de los valores observados VS pronosticados en ITM.....129
Figura 58. Autocorrelación para los valores observados VS pronosticados en COBACH.....129
Figura 59. Resultados de la normal de los residuales en UABC.....130
Figura 60. Resultados de la normal de los residuales en ITM.....130
Figura 61. Resultados de la normal de los residuales en COBACH.....130

RESUMEN.

El crecimiento acelerado de las ciudades en las últimas décadas, ha dado paso a una serie de problemas que involucran a la sociedad en general, los problemas de contaminación son los más palpables por la población, así que los estudios relacionados a este tema son de gran importancia. Los estudios sobre la contaminación del aire en la ciudad de Mexicali se han enfocado en el material particulado que se encuentra en la atmosfera, por lo que un estudio sobre el monóxido de carbono (*CO*), que es un gas incoloro e inodoro producido principalmente por los vehículos se convierte en un tema importante. El propósito principal de esta tesis es el de proponer un modelo estadístico para predecir el monóxido de carbono (*CO*) en la atmósfera urbana de Mexicali, B. C. Para la elaboración de este trabajo se utilizaron los datos recabados de las estaciones de monitoreo en la región, de enero de 2000 a diciembre de 2005, además de otras campañas de aforos vehiculares para complementar la información. Se realizaron estudios estadísticos a las bases de datos recabados, se estimó la estabilidad atmosférica a partir de los datos meteorológicos obtenidos de las mismas estaciones, se generaron imágenes de distribución temporal y espacial con estos datos, finalmente se propusieron dos métodos para predecir las concentraciones de *CO*, uno en base a regresión múltiple y otro con modelos autorregresivos. El desarrollo de la investigación siempre estuvo enfocado al estudio del *CO* y su relación con las variables meteorológicas locales, así como con el tránsito de la ciudad quedando claro que el tráfico vehicular es un factor importante a considerar y que su impacto en la contaminación depende de la forma en que las variables meteorológicas permitan su dispersión.

Se encontró principalmente que el tráfico vehicular al ser casi siempre constante, la creación de episodios de contaminación es debida mayormente a las variables meteorológicas. La necesidad de contar con mediciones de estabilidad atmosférica fue clara, las cuales se estimaron de forma indirecta, esta variable es de vital importancia para conocer la formación de episodios de contaminación. En la distribución espacial se encontró una tendencia en decremento en dirección noroeste–sureste, siendo esta una conclusión preliminar, al contar tan solo con 5 estaciones de monitoreo para este proyecto.

1.- INTRODUCCIÓN.

La calidad del aire es un tema de gran relevancia para el desarrollo de una región, esto queda claro al observar los esfuerzos de los gobiernos para mantener de manera satisfactoria los estándares adecuados del aire que respiramos y así evitar afectaciones en la población. En particular la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas en Agenda 21, dedican especial atención a este tema ya que los impactos producidos por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias que el ser humano realiza, ocasionan una gran contaminación atmosférica con graves impactos a la salud humana, animal y vegetal, La Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en ingles), publicó recientemente la identificación de 6 gases de efecto invernadero que presentan una amenaza para la salud y bienestar público (USEPA, 2009); Griffiths-Sattenspiel y Wilson (2009) estiman que en Estados Unidos de América el uso de energía relacionado con la distribución, tratamiento y calentamiento de agua equivale a un 13% del consumo nacional de electricidad; Pope III et al (2009) publicaron un aumento de 2.7 años en la expectativa de vida de 1980-2000 en los Estados Unidos de América, estimando que aproximadamente un 15% de este incremento está asociado con la reducción de PM 2.5. Además de los impactos en los seres vivos la contaminación ambiental afecta a los materiales resultando en elevados costos de mantenimiento.

En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha desarrollado Programas para mejorar la Calidad del Aire

(PROAIRES) con el objetivo de revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire en algunas de las zonas más contaminadas, Zona metropolitana del Valle de México, Zona Metropolitana de Guadalajara, Zona Metropolitana de Monterrey, Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Ciudad Juárez, Mexicali, Tijuana, Salamanca, Michoacán y la Zona Metropolitana del Valle de Puebla, los cuales son unas de las principales herramientas para revertir las tendencias de la contaminación así como las iniciativas de verificación vehicular. En el caso de Mexicali, las principales acciones indicadas en el PROAIRE, están dirigidas a diferentes campos: industria, comercios y servicios; vehículos; gestión urbana y transporte; recuperación ecológica, investigación y acuerdos internacionales. En el caso de los vehículos se hablaba de proveer gasolinas oxigenadas y de implementar la verificación vehicular, entre otros, en el caso del transporte se hablaba de aplicar estabilizadores de suelo para reducir las emisiones de partículas, pavimentar más calles, mejoras del transporte, solo por mencionar algunos.

En particular en la ciudad de Mexicali se han realizado diferentes trabajos, relacionados con la contaminación ambiental, Quintero (2006) hace una recopilación de diferentes autores sobre estos temas, donde principalmente aparecen estudios sobre material particulado.

Un contaminante criterio que no se ha estudiado a fondo en todas estas iniciativas es el monóxido de carbono (CO), el cual puede ocasionar graves problemas en el sistema respiratorio, incluso la muerte, así que el objetivo de esta tesis es el de analizar temporal y espacialmente su comportamiento, y

proponer un modelo estadístico que permita predecir las concentraciones máximas en la ciudad de Mexicali.

El contenido de esta tesis esta distribuido de la manera siguiente, en el capítulo 1, se plantea el problema de contaminación por CO; en el capítulo 2, se presentan las características de la región; en el capítulo 3, se presentan los datos mas importantes sobre el CO y su relación con otras variables, además de la manera en que se modela actualmente; en el capítulo 4, se describe el proceso en que se desarrolló la presente investigación; la discusión de los resultados será expuesta en el capítulo 5; y finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo.

1.1 ANTECEDENTES.

El desarrollo de las ciudades, como elementos modificadores de las condiciones nativas de una región, son tal vez una de las manifestaciones más importantes que el hombre ha tenido en el planeta Tierra, desde fines del siglo XVII, cuando la Revolución Industrial empezó a tejer anárquicamente el crecimiento de las grandes urbes. Generalmente mal planeadas, las ciudades actúan como polos de atracción para la población y para el empleo, y como centros de desarrollo industrial y cultural, pero también las ciudades interactúan con su medio ambiente, con consecuencias, tanto benéficas como dañinas. Particularmente México ha experimentado cambios inéditos en el plano demográfico, que implicaron ciclos, inicialmente de despegue e intenso crecimiento poblacional, y más recientemente de desaceleración, hoy en día se ubica a nuestro país como la undécima nación más poblada del mundo, por

debajo de países como China, India, Brasil y Japón (USCB, 2006). Gracias al impulso de la industrialización y de las actividades de base urbana, México experimentó una poderosa metamorfosis en la dinámica de crecimiento urbano y pasó de ser un país abrumadoramente rural a uno predominantemente urbano, de tal manera que las ciudades con 100 mil habitantes o más se incrementará de 69 en la actualidad a un total de 80 en el 2010. Una de estas ciudades de 100 mil o más habitantes es Mexicali, Baja California, la cual continúa creciendo con cierta rapidez. Esta ciudad alcanzó los 550 mil habitantes en el año 2000, y para el año 2005 ya se contaban 650 mil habitantes (INEGI, 2006). El parque vehicular es también creciente en la ciudad; con las facilidades que presenta el ser una ciudad fronteriza se suman más de 386,870 vehículos que circulan por la ciudad (IMIP, 2008). Esta aceleración en el proceso de urbanización está imponiendo costosas y enormes exigencias en la infraestructura productiva, equipamiento y de servicios, no solo en Mexicali, sino en todas las ciudades del país, así como fuertes presiones sobre el medio ambiente y los recursos naturales que será necesario moderar. Las áreas urbanas con mayores exigencias espaciales cada vez ocupan mayor espacio aéreo, tierra, ríos, etc., con impactos que modifican principalmente la vegetación natural, la calidad del agua, la calidad del aire y el clima.

El aire que respiramos se deteriora por diversos motivos, tanto por ciclos naturales como por actividades desarrolladas por el hombre. Esta contaminación del aire incide directamente sobre la salud de la población, la toxicidad de los contaminantes del aire está clínicamente asociada a enfermedades respiratorias, por lo que la población que habita ciudades con

una mala calidad del aire está expuesta en diferente grado, de acuerdo al lugar donde se desenvuelve, ya sea su hogar, trabajo o lugar de esparcimiento y por lo tanto el tipo de actividad que realiza, dormir, trabajar, ejercitarse, etc. Estas enfermedades están directamente asociadas con problemas de las vías respiratorias (Reyna, Quintero & Collins, 2005).

El binomio contaminación atmosférica y efectos en la salud, es atendido principalmente por las autoridades ambientales y de salud, aunque incide directamente en muchas áreas de estudio. Establecer redes de monitoreo y la realización de inventarios de emisiones son las herramientas básicas para atender de una manera formal el problema de la contaminación del aire.

La contaminación del aire en la mayoría de las ciudades puede apreciarse a simple vista, con cierta facilidad. Pero es necesario tener una manera científica de evaluar su calidad, tanto sus concentraciones como su distribución espacial y temporal, por lo que es necesario instalar algunos sistemas de medición dentro de las ciudades, para lo cual los gobiernos han implementado diferentes acciones para en un primer acercamiento conocer el grado de contaminación de una ciudad y después proponer acciones que ayuden a mitigar el problema; esto se logra con la operación de las estaciones de monitoreo ambiental. Las autoridades ambientales son las encargadas de establecer redes de monitoreo donde se miden y evalúan los niveles de contaminación de las ciudades. Estas redes de monitoreo están formadas por estaciones donde se encuentra resguardado el equipo con que se mide la contaminación del aire.

Los inventarios de emisiones son necesarios para establecer políticas de prevención y control de la calidad del aire, así como para la instrumentación de medidas correctivas para preservar y mejorar su calidad. Los inventarios de emisiones son instrumentos que impactan directamente en la calidad del aire, pero además en las actividades económicas, industriales, energéticas y de transporte del área de estudio (SEMARNAT-INE, 2006).

Los contaminantes del aire se pueden clasificar como contaminantes criterio y contaminantes peligrosos para el aire (CPA) (Zuk, Tzintzun & Rojas, 2007). Los primeros se identifican como dañinos para la salud y el bienestar de los seres humanos; los CPA son diversos compuestos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud humana como por ejemplo los compuestos orgánicos volátiles (COV).

Una gran parte de la población fronteriza es diariamente expuesta a niveles de contaminación que ponen en riesgo su salud. El material particulado, el ozono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono son los contaminantes considerados criterios. Los contaminantes criterios fueron establecidos por el gobierno de Estados Unidos con el fin de establecer niveles que no afectaran la salud de la población.

Desafortunadamente en México, como en muchos otros países no se cuenta ni con los recursos ni la infraestructura suficiente para realizar todos los estudios necesarios para establecer los estándares de calidad del aire por lo que se ha adoptado la convención utilizada por el gobierno de Estados Unidos y

entre otros el monóxido de carbono forma parte de este grupo de contaminantes.

Las altas concentraciones de monóxido de carbono obtenidas en las estaciones de monitoreo ambiental en Mexicali, Baja California y Calexico, California presentan un gran problema debido a que se reconoce que el problema se agrava en los cruces y avenidas de la ciudad, como se muestra en la imagen 1, afectando directamente la salud de la población, principalmente los que desarrollan alguna actividad en las calles.

Imagen 1. Apariencia del Bulevar Lázaro Cárdenas y Vialidad del Río Nuevo, captada el 5 de diciembre de 2007 a las 7:30 de la mañana.

En la Tabla 1 se presentan los valores normados para los contaminantes criterios y su Norma Oficial Mexicana.

Tabla 1. Valores Normados para los Contaminantes Criterio.

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la poblacion susceptible)	
Ozono (O3)	0.11 ppm (1Hora)	1 vez cada 3 años	-	NOM-020-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 Horas)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993
Bióxido de azufre (SO2)	0.13 ppm (24 Horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1-1993
Bióxido de nitrógeno (NO2)	0.21 ppm (1Hora)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m3 (24 Horas)	1 vez al año	75 µg/m3 (Media aritmetica anual)	NOM-024-SSA1-1993
Partículas menores a 10µm (PM-10)	150 µg/m3 (24 Horas)	1 vez al año	50 µg/m3 (Media aritmetica anual)	NOM-025-SSA1-1993
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m3 (Prom. Arit. En 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 23 de Diciembre de 1994.

1.2 PROBLEMÁTICA.

La problemática que presenta la ciudad de Mexicali, con su medio físico, natural y transformado, será tomada en cuenta para tratar de explicar y poder desarrollar el modelo estadístico en base a los resultados de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

La calidad del aire en una región depende del volumen, calidad y tipo de combustibles consumidos, de los diferentes tipos de combustión de las plantas industriales y de servicios, de las tecnologías de los vehículos automotores, de la ubicación y características geográficas de la región, así como de las

condiciones meteorológicas. Las variaciones en las condiciones atmosféricas son una de las principales causas de los episodios de contaminantes para la salud (Zuk, Tzintzun & Rojas, op.cit. 2007).

El principal problema de la contaminación del aire en la región, se atribuye sustancialmente a las características físicas de los suelos, las condiciones meteorológicas, la falta de pavimentación de un 55% aproximadamente en el área urbana, el parque vehicular y la industria. En la imagen 2, se aprecia una gran cantidad de vehículos además de una pluma de humo de alguna quema.

Imagen 2. Tráfico por Bulevar Lázaro Cárdenas donde además se aprecia una pluma de humo.

El XVII ayuntamiento de Mexicali (2004-2007) ha removido mas de 15 mil vehículos por condiciones inadecuadas de las principales vialidades del municipio, ha localizado mas de 40 mil lotes baldíos y ha aplicado diferentes materiales a mas de 120 mil metros cuadrados de vialidades de acuerdo a los boletines presentados en su portal de internet.

Se considera que el parque vehicular es el factor que más contribuye a la contaminación atmosférica, sumando en Mexicali 386,870 vehículos (IMIP, 2008). Las emisiones de los vehículos varían en función del kilometraje, la calidad de los combustibles, y el mantenimiento de los vehículos. El uso de gasolinas oxigenadas puede ser de gran ayuda (de acuerdo a un estudio realizado por el California Air Resources Board (CARB, por sus siglas en inglés) se estima que la reducción de CO es de entre 5 y 10% (Dolislager, 1997), por el uso de combustible mejorado.

Según la información con que se cuenta se estima que gran parte de las concentraciones de PM-10 (partículas inhalantes) en Mexicali son causadas por polvos de caminos sin pavimentar y acarreos de quemas agrícolas (SPA, op. cit., 2007).

La industria es uno de los mayores contaminantes del medio ambiente, aunque son las fuentes más legisladas y en su mayoría cumplen con las normas establecidas. De acuerdo al inventario de emisiones de Mexicali de 1996, la industria solo emite 1.6% de las emisiones de CO en la ciudad.

La suma de estos factores (clima, suelo, parque vehicular, industria) repercute directamente con las concentraciones de CO reportadas por las estaciones de monitoreo ambiental.

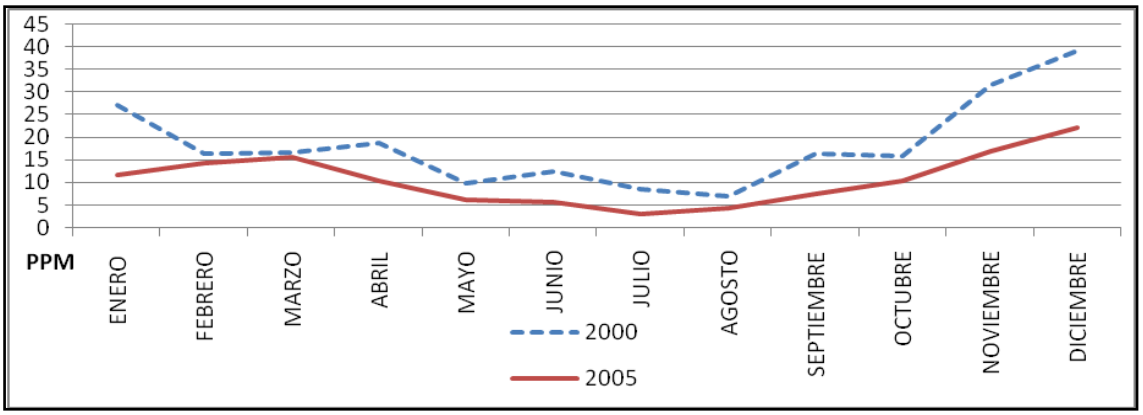
En particular, la sociedad mexicalense ha señalado constantemente a las autoridades el problema de contaminación del aire, por lo que en el presente

estudio se pretende evidenciar la relación entre las concentraciones de CO obtenidas en las estaciones de monitoreo, variables meteorológicas y el parque vehicular que diariamente transita por la ciudad de Mexicali.

Las concentraciones de CO han disminuido de 1997 a 2005 de acuerdo a los resultados presentados (Quintero, 2006), además indica que las mayores concentraciones se presentan durante las épocas de otoño e invierno. También se presenta un comparativo entre 2000 y 2005 de las tendencias de las máximas de CO en las 5 estaciones de monitoreo analizadas (Gráfica 1).

El comportamiento horario del CO está en función de algunos factores de la dinámica urbana, como por ejemplo la intensidad del flujo vehicular, la actividad industrial, comercial y de las condiciones meteorológicas cíclicas diarias y su variación estacional (PROAIRE, 1999). Estos factores se considerarían para elaborar un modelo estadístico para predecir el CO. Algunos de estos factores podrían explicar el incremento en las concentraciones de CO durante el otoño e invierno.

Grafica 1. Comparativo de CO entre los años 2000 y 2005.



Fuente: Red de Monitoreo. Elaborada por Landeros.

La red de monitoreo ambiental de Baja California ha operado en forma continua desde 1997, y la información generada ha sido validada por USEPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, por sus siglas en inglés), por lo que se tiene confianza en la base de datos recopilada.

La modelación de CO ha evolucionado al paso de los años, la USEPA ha editado una serie de documentos para guiar la elaboración de modelos para estimar las emisiones provenientes del tráfico vehicular, los modelos son programas de computadora que predicen los impactos de las fuentes en un área, a corto tiempo, usualmente en un área de 100 metros y en un tiempo de 24 horas. Existen una gran variedad de estos modelos ya sea de instituciones públicas o privadas, y dependiendo de su uso varían sus metodologías, sofisticación y requerimientos de información.

1.3 HIPÓTESIS.

La inclusión de variables meteorológicas y de tráfico vehicular, permitirá predecir las concentraciones de CO mediante la propuesta de un par de modelos: uno estadístico y otro de series de tiempo.

1.4 OBJETIVO GENERAL.

Generar un modelo estadístico que permita pronosticar las concentraciones de monóxido de carbono, incorporando variables climáticas y el flujo vial para la ciudad de Mexicali.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar el ciclo del CO a varias escalas temporales: anual, mensual, diario y horario.
- Elaborar rosas de viento para analizar su relación con el CO.
- Conocer las variables que impactan directamente en las altas concentraciones de CO en la ciudad de Mexicali y estudiar la interrelación que existe entre ellas.

1.6 JUSTIFICACIÓN.

De acuerdo a datos presentados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en su portal de Internet (http://www.ine.gob.mx/dgicur/calaire/t_co.html), en Mexicali se tiene un promedio de 49 días al año en que se rebasa la norma para periodos de 8 horas para CO, contra menos de 1 día por ejemplo en la ciudad de Tijuana. Los efectos en la salud debido a la exposición al CO serán comentados en capítulos posteriores, pero el principal problema en el ser humano es la formación de carboxihemoglobina (COHb) la cual disminuye la capacidad de circulación del oxigeno en la sangre (WHO, 1999), por lo que se considera de vital importancia realizar un estudio para predecir las concentraciones de CO en los principales nodos viales de la ciudad de Mexicali

En la Tabla 2 se muestra el número de veces que se ha excedido la norma para monóxido de carbono en las ciudades donde se cuenta con monitores de acuerdo a los informes presentados por el INE.

Tabla 2. Días que se rebasa el valor de la norma para CO (11 ppm, promedio móvil de 8 horas)

Año	ZMVM	ZMG	ZMM	ZMVT	Puebla	Ciudad Juárez	Tijuana	Mexicali
1997	1	14	1	0	SM	24	0	43
1998	6	15	0	0	SM	23	0	76
1999	2	8	2	0	SM	10	0	78
2000	2	9	0	0	DI	1	0	53
2001	0	4	0	0	0	0	1	48
2002	1	5	2	0	0	0	1	46
2003	0	4	0	0	0	0	0	33
2004	0	6	0	0	0	0	0	17
2005	0	2	0	0	0	3	0	SI

SM = Sin medición

DI = Datos insuficientes

SI = Sin información – el INE no cuenta con la base de datos

ZMVM = Zona Metropolitana del Valle de México

ZMG = Zona Metropolitana de Guadalajara.

ZMM = Zona Metropolitana de Monterrey

ZMVT = Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente: http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/t_co.html

De acuerdo al INE, Mexicali ocupa el primer lugar nacional en contaminación por CO (Zuk, Tzintzun & Rojas, op. cit., 2007). La exposición a altas concentraciones de contaminantes puede dar como resultado cáncer, problemas reproductivos y respiratorios, Mexicali es la tercera ciudad más contaminada del país y la segunda con los más altos niveles de material particulado menor de 10 micras (PM10).

El establecimiento de una gran cantidad de industria, comercios y actividades de servicios, un alto crecimiento del parque vehicular, han provocado la mala calidad del aire en Mexicali, especial interés presenta el estado de los vehículos particulares y de transporte público, aunado a la importación de autos usados que generalmente están en mal estado de funcionamiento

(PROAIRE, op. cit., 1999). En la Imagen 3, se aprecia la contaminación en una capa muy cerca del nivel de suelo, por Bulevar Benito Juárez, frente a la UABC.

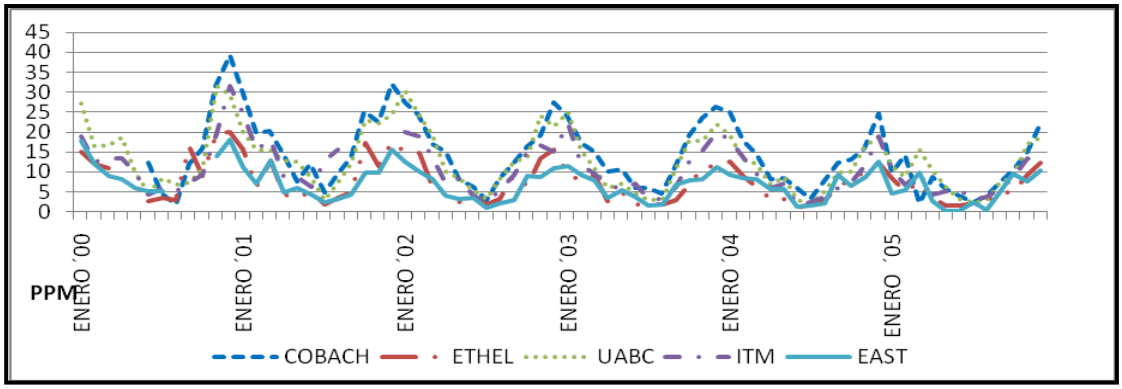
Imagen 3. Contaminación apreciada el día 17 de Diciembre de 2007, por Bulevar Benito Juárez Frente a la UABC.

Las estaciones de monitoreo instaladas en la ciudad de Mexicali son de dos tipos, 4 consideradas completas o automáticas (UABC, ITM, COBACH y Campestre) y dos manuales (Progreso y CONALEP). Las completas cuentan con sensores de velocidad del viento, dirección del viento, temperatura del aire, muestreadores de partículas PM_{10}, analizadores de ozono (O_3), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y solo en UABC dióxido de azufre (SO_2) y muestreadores de PM_{10} y $PM_{2.5}$ continuo; las manuales cuentan solo con muestreadores de partículas PM_{10}.

Los ciclos de CO observados en la ciudad son bastante marcados durante los diferentes periodos del año, en el verano las concentraciones disminuyen notoriamente y durante el invierno se incrementan (Gráfica 2), por lo tanto se

crea la necesidad de caracterizar los diferentes periodos de tiempo desde una escala anual, mensual y finalmente diaria, para entender el comportamiento del CO en la ciudad de Mexicali. En la gráfica 2 se presentan las máximas mensuales de CO para el período 2000-2005 en las estaciones de monitoreo COBACH (Colegio de Bachilleres), UABC (Universidad Autónoma de Baja California), ITM, (Instituto Tecnológico de Mexicali), Ethel (Calexico, Ca.) EAST (Puerto de entrada, Calexico, Ca.)

Gráfica 2. Máximas mensuales de CO, 2000-2005.



Fuente: Red de Monitoreo. Elaborada por Landeros.

El conocimiento del problema de la salud ambiental es limitado, no se conocen todas las consecuencias de las exposiciones casuales o prolongadas, es necesario hacer un esfuerzo mayor para desarrollar conocimiento epidemiológico. Dicha limitación se deriva de tres factores principales: desconocimiento del área, incapacidad para establecer una causa-efecto y un inadecuado registro de los efectos nocivos que tiene para la salud, la contaminación y las contingencias ambientales (Zuk, Tzintzun & Rojas, op. cit., 2007). Además de que debido a estas causas, las enfermedades se presentan a

mediano o largo plazo y se pierde de vista el grado de exposición de la población afectada.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, La Salud se define como: "el estado de bienestar físico, mental y social, y no únicamente como la ausencia de enfermedad". La salud debe ser el resultado del nivel y grado de colaboraciones estratégicas que se dan entre el individuo, el grupo y la sociedad con su entorno, con su medio ambiente, función que debiera maximizar la acción de ambos, sustentando una relación armónica.

La calidad de vida y la vida misma en general desde una perspectiva ambientalista, dependen de dos condiciones: aquellas asociadas a la infraestructura y la capacidad que tiene esta de promover y mantener la salud, y aquellas otras situaciones asociadas al estado del medio ambiente que resultan de las actividades humanas.

Es importante señalar que se considera que las actividades humanas tienen el potencial de romper el equilibrio entre los ecosistemas y sus ocupantes, generando condiciones ambientales que repercuten en la salud de la población.
El CO es la causa más común de muerte por envenenamiento, puede afectar en caso de una contingencia a un gran sector de la población. Las fuentes no industriales más importantes de CO son las fuentes móviles y sistemas de calefacción sin una adecuada ventilación. El tabaquismo potencializa el efecto nocivo de este gas.

El CO se combina con la hemoglobina, acumulándose en la sangre, aún cuando las concentraciones en el ambiente sean muy bajas, y el principal signo de intoxicación es la hipoxia (disminución de oxigeno en los tejidos corporales), que afecta la habilidad psicomotora, produciendo cefalea, confusión y pérdida de la agudeza visual, taquicardia, perdida de la conciencia, coma, convulsiones, paro respiratorio y muerte. Esta serie de efectos se relacionan con diferentes concentraciones que van desde 300 hasta 1000 partes por millón, (la norma establece 11 ppm en exposiciones agudas), o con concentraciones de carboxihemoglobina que varia entre 15 y 60% (INE, 2007).

Tener una visión de cómo se interrelacionan las diferentes variables y la ubicación de las estaciones de monitoreo es importante, ya que según la zona de la ciudad donde se encuentran será el uso de suelo un factor importante para la calidad del aire.

Debido a su posición geográfica (vecindad con California), y su dinamismo, Mexicali ha logrado un papel importante en la economía nacional. Esto implica beneficios económicos y sociales, pero también trae de la mano los problemas relacionados con la intervención de las diferentes actividades humanas en el medio ambiente, en particular el deterioro en la calidad del aire.

2. MARCO DE REFERENCÍA.

De manera particular la contaminación del aire en Mexicali ha crecido paulatinamente; este problema parece ser ocasionado por la instalación del sector industrial, la flota vehicular y el crecimiento de la población que requiere de servicios que no se alcanzan a cubrir, al crearse nuevos asentamientos que no cuentan con los servicios básicos, p.e. pavimentación, aunado al tipo de suelo arcilloso de la región, el tipo de transporte que se utiliza, ya sea particular o público y a la gran cantidad de suelos agrícolas en desuso que rodean la ciudad.

2.1 EL CO EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B. C.

En el caso de la ciudad de Mexicali el problema de la contaminación parece estar relacionado con el tipo de suelo y con la gran cantidad de vehículos que circulan por la ciudad, en agosto del 2005 el gobierno federal autorizó importar definitivamente autos de procedencia extranjera con una antigüedad no mayor a diez y quince años, (DOF, 2005) lo cual produciría la entrada de un mayor número de vehículos. De acuerdo a informes del director de Ecología Municipal se importaban diariamente alrededor de 300 vehículos en el municipio (Minor, 2007), lo que produciría un incremento en las emisiones de CO a la atmósfera urbana de Mexicali.

La contaminación del aire es un problema de salud que afecta principalmente a niños y personas mayores, aún con exposiciones muy cortas sus consecuencias pueden ser letales, por lo que al revisar la cantidad de días que se rebasan las normas para CO en la ciudad de Mexicali, se encuentra un problema serio al

tratarse de un contaminante criterio y sus efectos en la salud son casi imperceptibles por lo que a la intoxicación por CO se le conoce como ¨la muerte dulce¨ por no alcanzar a distinguir sus efectos en el caso de intoxicación.

Los estudios en la región para ver los efectos de la contaminación del aire en la salud se han enfocado al análisis de material particulado PM_{10} y ozono, por lo que se crea la necesidad de profundizar en el estudio del CO, ya que las características físicas y económicas de la ciudad lo hacen un problema de gran impacto en la población, sobre todo en los meses de invierno que es cuando se acentúan los problemas de contaminación por gases.

El transporte ha sido una de las fuentes mas importantes de contaminación del aire, además de los vehículos registrados oficialmente se deben considerar en esta región el número de autos antiguos no registrados ya que el número de estos es creciente y fluctuante, muchos de ellos importados de Estados Unidos de América a México de manera ilegal y en condiciones que no cumplen con las normas de emisiones en EE UU, por lo que se debe considerar que una gran cantidad de la población esta expuesta a este gas.

El Departamento de los Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés) en un estudio que realizaron en Augsburg, Alemania y en policías de tránsito de Carolina del Norte, EEUU, encontraron relación entre ataques al corazón y exposición al tráfico y al ruido (ARB, 2005). En otro estudio (Meng, et al., 2007) examino los impactos del trafico en adultos con poco control del asma. (ARB, 2007) observó como existe una relación entre la contaminación relacionada con el tráfico y las incidencias de personas que padecen asma en

los condados de Los Ángeles y San Diego. Greenbaum (2002) indicó que los efectos en la salud por emisiones vehiculares se debe a dos principales factores, las emisiones y los combustibles, incluso lo relativo a las concentraciones dentro de los vehículos que transitan por la ciudad. Fruin (2004) comentó la importancia de la exposición dentro de los vehículos pues encontró que existe una mayor concentración de contaminantes dentro de los vehículos que transitan por carreteras en California, que en las zonas que rodean estas vialidades, corroborando lo encontrado por Flachsbart (1999), en el que se reportó como los niveles de CO dentro de los vehículos, aumentan durante el invierno en un estudio realizado en Honolulu. The National Research Council (2003) reporta que el problema de la vecina ciudad de Calexico, Ca. con el CO es debido a su cercanía con Mexicali, que incluso las largas filas de autos para cruzar a Estados Unidos no representan mayor problema para la creación de CO. Se comenta además que de acuerdo al monitoreo del ARB (Air Resources Board) de California las máximas concentraciones de CO en Calexico se dan alrededor de las 3:00 AM durante el invierno, siendo esto posible debido al transporte de CO desde Mexicali durante la noche. En Nigeria (Ojolo et. al., 2007) reportó casos de somnolencia, ataques asmáticos, dolores de cabeza, entre otros síntomas, en diferentes tipos de población expuesta a los efectos de las emisiones del transporte en 4 diferentes ciudades de Nigeria.

En la Imagen 4, se aprecian vehículos de carga, de transporte y particulares que circulan por la ciudad, contaminando de una manera claramente visible.

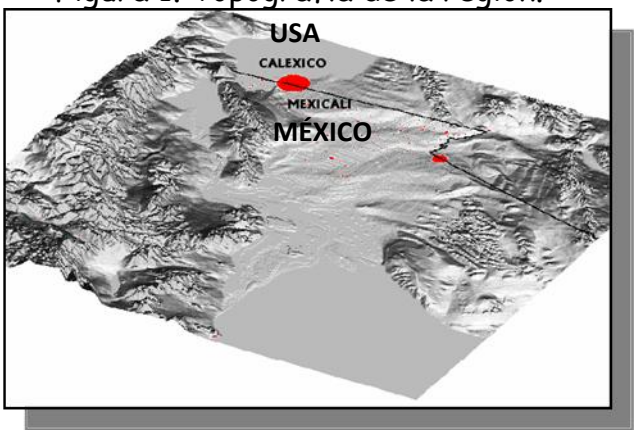
Imagen 4. Diferentes tipos de vehículos contaminando visiblemente, imágenes captadas en distintas vialidades de la ciudad.

2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA REGIÓN.

La fecha de fundación de la ciudad de Mexicali se considera el 14 de marzo de 1903, colinda al Norte con California, Estados Unidos, al Sur con la sierra Cucapah, al Este con el valle de Mexicali y al Oeste con el Cerro el Centinela (Figura 1). Del otro lado de la frontera nace Calexico, California. La ubicación del Valle de Mexicali y la colindancia con el Valle Imperial, han llevado a estas dos zonas hacia un desarrollo importante, que influye en la calidad del medio ambiente en ambos lados de la frontera (Figura 1). Es decir surgen como una zona agropecuaria a principios del siglo XX, su nacimiento y posterior desarrollo está relacionado con la colonización y el desarrollo agrícola

implementado por ambos gobiernos. En el año 2004 Mexicali contaba con una extensión territorial de 14,889 hectáreas (PDUCM 2025, 2007).

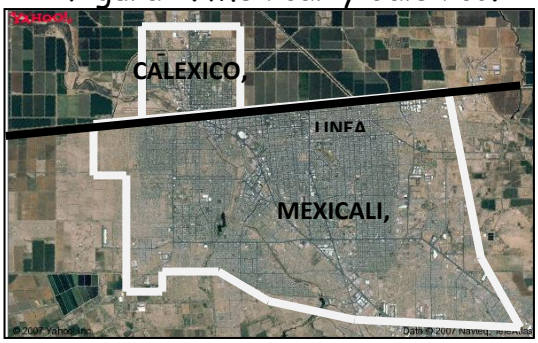
Figura 1. Topografía de la región.



Fuente: http://gort.ucsd.edu/mw/mntmex.gif

La ciudad de Mexicali es la capital del estado de Baja California, se localiza a los 32°40′ de latitud Norte y 115°28′ de longitud oeste con una altura promedio sobre el nivel del mar de 10m (Figura 2). Forma parte de la cuenca del río Colorado que incluyen a siete estados de la Unión Americana y dos de México. La región de los valles Imperial y de Mexicali forman parte de la depresión del mar de Salton.

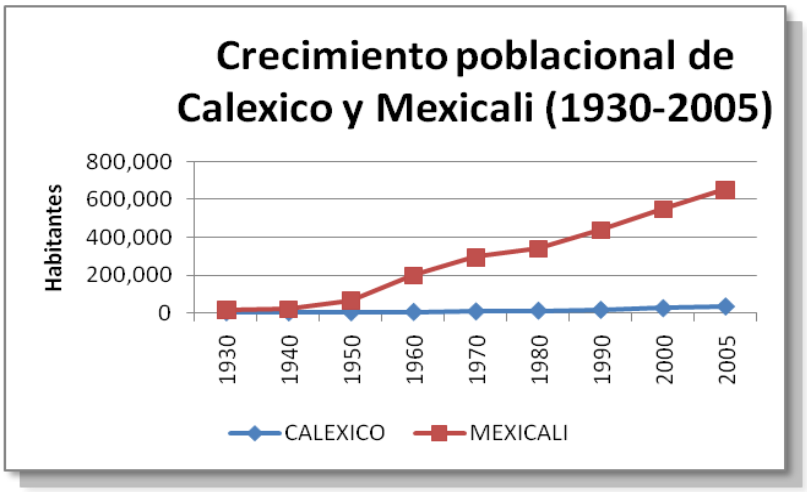
Figura 2. Mexicali y Calexico.



Fuente: Yahoo maps. Modificado por Landeros.

2.3 POBLACIÓN.

La población de la ciudad de Mexicali según el conteo de INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informatica) de 2005 era de 653,046 habitantes y el municipio contaba con 855,962 habitantes es decir el 76.3% de la población del municipio habitaba en la ciudad, en la gráfica 3, se observa como a partir de 1950 la población en la ciudad de Mexicali aumentó, coincidiendo con la llegada de habitantes del sur del país para impulsar el desarrolló del valle de Mexicali.



Gráfica 3. Tendencia poblacional de Mexicali y Calexico (1930-2005).

Datos: INEGI 2005 y USCB 2005. Elaborada por Landeros.

Por otra parte el valle Imperial esta formado por varias ciudades, entre las mas cercanas a Mexicali se encuentran Calexico y El Centro (en California, Estados Unidos de América). Calexico se encuentra justo al Norte de Mexicali y han crecido como ciudades hermanas. La ciudad de Calexico cuenta con una extensión territorial de 15.54 kilómetros cuadrados y tenia una población de

27,109 habitantes en el año 2000 (USCB, 2006) y se estimaban 35,933 habitantes para el año 2005.

2.4 MEDIO FÍSICO Y NATURAL DE LA CIUDAD DE MEXICALI.

A continuación se presentan los aspectos más relevantes del medio físico y natural de la ciudad, ya que sirven de sustento en la toma de decisiones, al ubicar los factores ambientales que pudieran afectar el desarrollo urbano de la ciudad.

Como ya se mencionó con anterioridad, Mexicali se encuentra en la parte noreste de la península de Baja California, la ciudad presenta un tipo de clima cálido, seco, muy árido, con régimen de lluvias de invierno y con una oscilación anual de temperaturas medias mensuales muy extremosas.

Presenta una temperatura media anual de 22.4°C, observándose que su marcha mensual experimenta un período extremadamente cálido, que abarca desde junio hasta septiembre, con temperaturas medias por arriba de los 30°C, el mes de julio es en promedio el más caliente del año con una media de 33.1°C, y una media máxima de 41.8°C; el mes más frío corresponde a enero con un promedio de 12.4°C. Se han registrado grandes contrastes térmicos en Mexicali, con temperaturas tan altas como 54.3°C, y tan bajas como -7.0°C.

Influenciado por los sistemas frontales de invierno, el régimen anual de la precipitación presenta un máximo en los meses de diciembre y enero, con 11.1 mm y 9.8 mm, respectivamente; Junio es el mes más seco con un valor tan bajo

como 0.2 mm, siguiéndole el mes de mayo con 0.6 mm; en los meses de julio y agosto se presenta una segunda temporada de lluvias, ocasionada por las llegadas ocasionales de las surgencias de humedad y perturbaciones tropicales debilitadas. En general, la precipitación en Mexicali, es bastante baja, ya que presenta un total anual de tan sólo 72.6 mm. La marcha mensual de humedad relativa promedio anual es de 45.7%, correspondiendo a diciembre y enero ser los meses de mayor humedad relativa promedio con 60.1% y 53.8%, respectivamente, mientras que mayo y junio son los meses de menor humedad relativa promedio con tan sólo 35.5% y 33%, y al igual que en la marcha de la precipitación, se observa un período ascendente que culmina en el mes de Agosto con 49.8%.

El régimen de vientos que afecta a la ciudad de Mexicali, tiene el siguiente comportamiento: desde principios de otoño y hasta mediados de primavera prevalece un flujo de aire marítimo modificado del noroeste (Figura 3). Este flujo está asociado con el campo de la Alta Presión del Pacífico Noroeste, que en esta temporada tiene su máximo desplazamiento hacia el Sur. Este flujo del Noroeste se ve reforzado cuando un sistema frontal atraviesa la región, ya que se intensifica el gradiente de presión que acompaña a estos sistemas frontales. Durante los meses de junio a agosto, y hasta mediados de septiembre, Mexicali y su valle se encuentra dominado por una masa de aire muy caliente de tipo continental, relativamente seca, la cual posee una baja presión debido a la intensa radiación solar. Esta masa de aire contrasta notablemente con una masa de aire más fría, húmeda, tipo tropical marítima del Golfo de California, donde predomina un sistema de alta presión. Se establece entonces un

gradiente de presión Sur-Norte, por lo que el flujo de aire es dirección Sur y Sureste durante esta temporada. Este flujo, generalmente húmedo, ocasiona incomodidad al ambiente debido a la combinación alta temperatura-alta humedad (Garcia, Rivera & Tejeda, 1999)

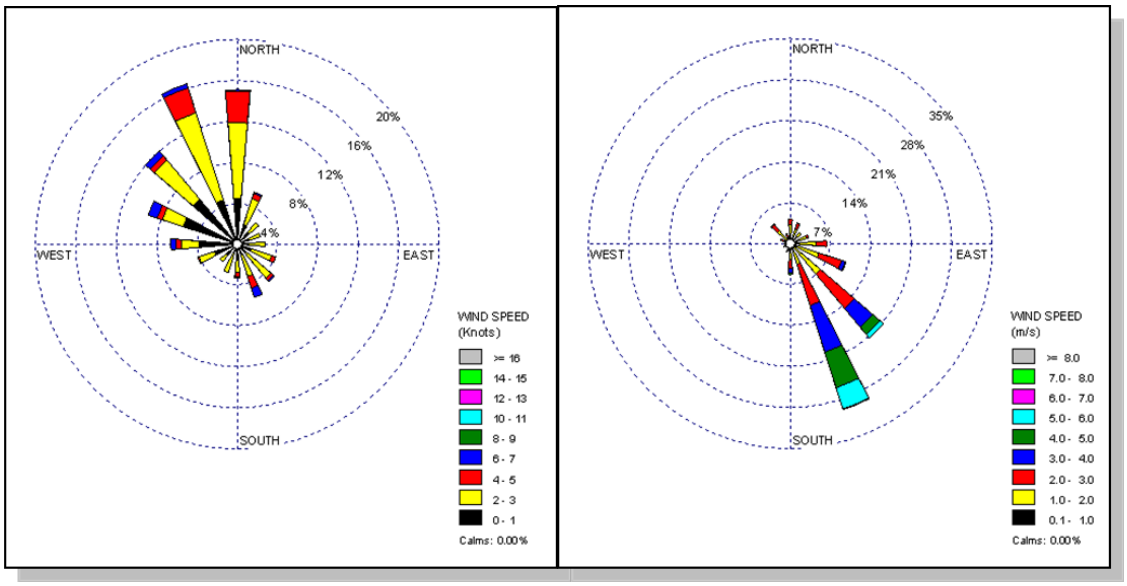


Figura 3. Rosas de viento para Enero y Julio de 2004.

Fuente: Red de Monitoreo. Elaborada por Landeros.

La topografía es sensiblemente plana con una pendiente del 0 al 2% en la mayoría de la ciudad, lo cual hace necesarios sistemas de bombeo para la introducción de agua potable y el desalojo de las aguas residuales. El Río Nuevo que en la actualidad se encuentra cubierto desde el centro de la ciudad hasta la calzada Héctor Terán Terán es la depresión más considerable en la ciudad.

La ciudad se encuentra como ya se mencionó, dentro de la cuenca del Río Colorado, y cuenta con cuatro cuerpos de agua, que son: el Río Nuevo, el Lago

del Bosque, la Laguna Xochimilco y la Laguna México. Todos estos forman parte de la red de drenaje del valle de Mexicali que fluye hacia Estados Unidos. En estos cuerpos de agua, principalmente en el Río Nuevo se hacen descargas clandestinas, las cuales van sin ningún tipo de control. Además de estos cuerpos naturales existen otros como el canal Independencia el cual se utiliza para alimentar las plantas potabilizadoras de la ciudad y el canal Tulechek utilizado con fines agrícolas.

Los mantos acuíferos del valle de Mexicali son recargados por las filtraciones del Río Colorado y de los canales agrícolas de la región, estos mantos acuíferos se encuentran en peligro debido al encementado del nuevo canal Todo Americano del otro lado de la frontera que lleva agua a las Ciudades de San Diego y Los Ángeles.

El suelo es considerado principalmente como arcilla expansiva de baja permeabilidad, lo cual dificulta y hace más costosa cualquier obra urbanística.

En la región donde se encuentra situada la ciudad de Mexicali, cruzan una serie de fallas geológicas pertenecientes al sistema de la Falla de San Andrés, por lo que se considera como una de las regiones más sísmicas del país.

2.5 MEDIO FÍSICO TRANSFORMADO.

Como ya se mencionó, la ciudad se encuentra asentada en una superficie de 14, 865,889 km², la cual se encuentra ocupada por diferentes usos de suelo: habitacional, comercio y servicios, industria e infraestructura y vialidades

principales (Tabla 3). En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de usos de suelo (PDUCPM 2025, op. cit., 2007). Dentro de la superficie ocupada se considera al 87%, el resto son extensiones de terrenos baldíos. El uso de suelo para vivienda no se encuentra concentrado en un área, se ha desarrollado en todas direcciones solo que con diferentes calidades.

Tabla 3. Usos de suelo.

Usos de Suelo Cd. de Mexicali	Usos	Vivienda	Comercio /serv.	Industria	Equip. Urbano y Areas Verdes	Infraestructura y Vialidad Primaria	Grandes baldíos	Total
	Superficie Area Urbana (Has.)	9,731.75	904.86	824.57	639.12	949.48	1,839.98	**14,889.77**
	%	65.36	6.08	5.54	4.29	6.38	12.36	**100**

Fuente: Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Mexicali, 2025.

Elaborada por Landeros.

La vivienda ocupa más de la mitad del suelo en la ciudad y ha tenido un importante desarrollo en los últimos años de aproximadamente 4.1% entre el año 1990 y el año 2000 (PDUCPM 2025, op. cit., 2007), por lo que se espera que este crecimiento sufra una desaceleración en los siguientes años. Se considera una densidad habitacional del 7.1 viv/ha para el 2004 (PDUCPM 2025, op. Cit., 2007) pero en algunos sectores alcanza 40 viv/ha (INEGI, 2000).

La industria representa cerca del 6% de ocupación con un total de 21 parques industriales presentados en la figura 4, localizados en diferentes puntos de la ciudad (Mexicali Industrial, 2007). La industria no se ubica en un rumbo

específico de la ciudad, aunque se reconoce que en el área de la Delegación González Ortega (Figura 4) es donde más empresas se han establecido, considerándose de las más afectadas del municipio por la actividad industrial.

Los principales pulmones de la ciudad son los de la ciudad Deportiva, la Unidad Universitaria de la UABC, el Parque Vicente Guerrero, el Bosque de la Ciudad, el Centro Deportivo Juventud 2000, el Parque del Centenario, las Instalaciones de Rectoría de la propia UABC y el CETYS. Existen un total de 1, 068,904 m² de parques y jardines en la ciudad de Mexicali (PDUCPM 2025, op.cit., 2007).

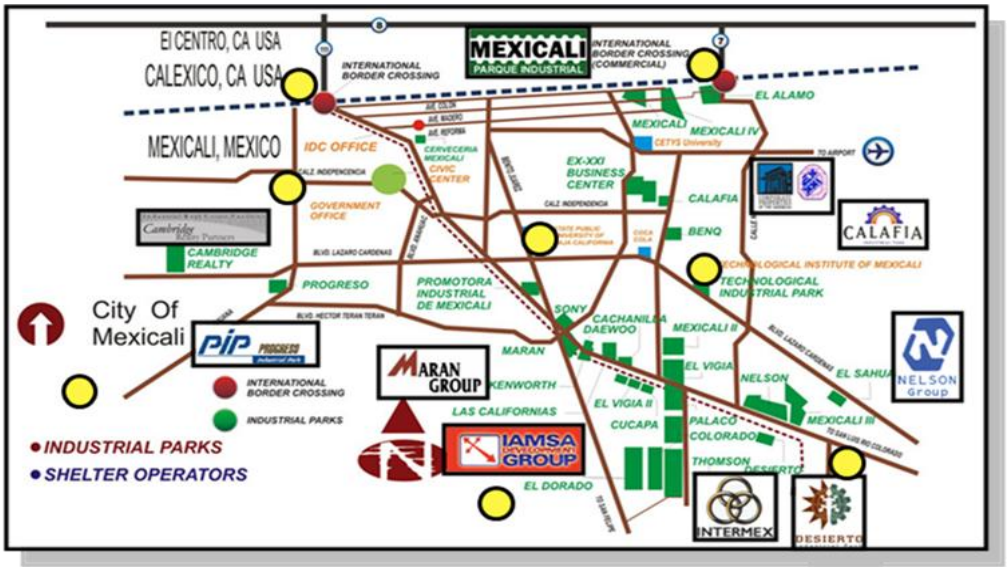


Figura 4. Parques Industriales en la ciudad de Mexicali.

Fuente: Mexicali Industrial, 2007. Modificado por Landeros.

2.6 URBANISMO Y VIALIDAD.

La ciudad de Mexicali cuenta con una red vial de 23´328,017 m² según el ayuntamiento de Mexicali (2007), con un 63% de las vialidades pavimentadas

(PDUCPM 2025, op.cit., 2007); de acuerdo al Plan Integral de Pavimentación y Calidad del Aire (PIPCA)se esperaba que en 2007 se cubriría el 80% de la ciudad.

En el año 2004 la ciudad de Mexicali contaba con un vehículo por cada 2 habitantes es decir contaba con 386,870 vehículos (IMIP, 2008, op.cit.). Se tienen datos de que en promedio contando altas y bajas para vehículos fronterizos y nacionales el balance para los años de 2004 y 2005 tuvo de un incremento de 100,000 vehículos por año. (SPF, 2006). Lo anterior se manifiesta en el grave problema vial en las principales arterias de la ciudad.

Las vías de acceso a la ciudad son al Norte por las garitas internacionales, al Sur por la carretera a San Felipe, al Este por la carretera a San Luis Río Colorado y al Oeste por la Carretera a Tijuana. Al ser el nodo entre las ciudades del sur del país y las del resto de la Baja California, así como con los Estados Unidos, existe un entrelazamiento de los flujos viales locales y regionales que agravan la situación vial. Las vialidades principales en la zona urbana son el Bulevar Lázaro Cárdenas, Bulevar Adolfo López Mateos, Bulevar Benito Juárez, Calzada H. Colegio Militar, Calzada Anáhuac, Calzada Xochimilco, Calzada Independencia, Calle Novena y Bulevar Carranza, entre otros diferentes pares viales localizados por diferentes rumbos de la ciudad.

En los cruces de los Bulevares Lázaro Cárdenas y Adolfo López Mateos, se construyó el distribuidor vial que incluyó la Calzada Francisco L. Montejano, en la imagen 5 se muestra parte de este cruce.

En el cruce de los bulevares Lázaro Cárdenas y Benito Juárez se construyó un paso a desnivel, presentado en la imagen 6.

Imagen 5. Distribuidor vial, Lázaro Cárdenas - López Mateos.

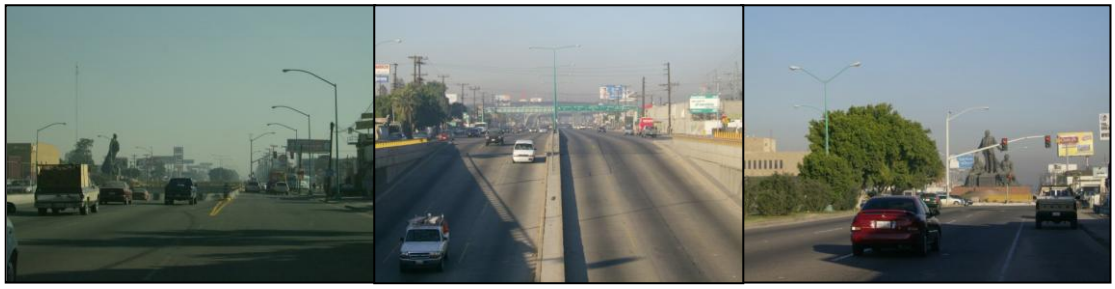


Imagen 6. Paso a desnivel, Bulevar Lázaro Cárdenas y Benito Juárez.

Los ejemplos anteriores son parte de la modernización de las vialidades de la ciudad, pero con esto solo se logra ubicar en otros nodos los embotellamientos en las horas pico.

La traza de las vialidades es de una forma irregular ya que son interrumpidas por algunos obstáculos naturales como el Río Nuevo y otros hechos por el hombre, las vías del ferrocarril y otras vialidades que indican las diferentes etapas de crecimiento de la ciudad, todo esto sobre un terreno sensiblemente

plano. Otro factor que interrumpe el tránsito es la falta de jerarquía de las vialidades, puesto que muchas veces una vialidad primaria se ve interrumpida por una secundaria y estas con locales por señales de alto o semáforos deteniendo el tráfico para dar paso a calles con menor volumen.

En últimas fechas se ha hecho un esfuerzo por resolver el problema vial en las principales vialidades de la ciudad, aunado a un sistema mejorado de semáforos, el cual consta de 176 cruces semaforizados (Ayuntamiento de Mexicali, op.cit. 2007), pero como se mencionó anteriormente, esto solo traslada el problema vial de un nodo a otro. Esto se puede apreciar en las horas pico, cuando la mayoría de la población se dirige a la escuela o centros de trabajo. Así que aunado al clima extremoso de la región la población se ve expuesta a un gran desgaste físico y mental.

Como ya se mencionó, el principal factor para este problema es la falta de jerarquización de las vialidades, aunado a la organización del tránsito, y la falta de capacidad de las secciones viales y sus nodos. Esto lleva a la concentración del tráfico en unas cuantas vialidades haciendo evidente la falta de alternativas viales que evitaría las altas concentraciones de vehículos en determinadas intersecciones y horarios.

Aunado al estado de conservación de la red vial representa un factor para que la población elija ciertas vialidades sobre otras que se encuentran en mejor estado y con un menor número de señalamientos, lo cual representa una mayor velocidad de desplazamiento.

En lo referente al transporte público municipal, en total en el municipio se encuentran dados de alta 939 autobuses al servicio público y 983 taxis (Ayuntamiento de Mexicali, op.cit., 2007). El servicio de transporte público de la ciudad cubre 96.9 km. (PDUCPM 2025, op.cit., 2007). El tipo de autobuses mayormente utilizado es un camión grande tipo escolar con capacidad de 40 personas sentadas y 20 paradas, y los taxis son mayormente automóviles tipo sedan con capacidad de 6 personas. La edad promedio de los autobuses que prestan el servicio de transporte público es de 16 años, lo cual representa un grave problema de contaminación en la ciudad, aunado a los 33.5 km que recorren diariamente (PDUCPM 2025. op.cit., 2007).

Existen como ya se mencionó con anterioridad dos cruces fronterizos internacionales en la ciudad, Garita I, localizada en el centro histórico de Mexicali (Imagen 7) que registra un cruce promedio diario al Norte de 16,100 autos y 6 camiones, y la Garita II, localizada al este de la ciudad (Imagen 8) con un cruce promedio diario al Norte de 9,100 autos y 1,000 tracto camiones (CALTRANS, 2002). Impactando directamente al tráfico sobre las vialidades aledañas a los cruces fronterizos principalmente al de la zona centro donde el tiempo de espera para cruzar a Calexico puede ser de más de una hora, incrementando la emisión de contaminantes a la zona.

Imagen 7, Puerto de entrada al Centro de Calexico (Garita vieja).

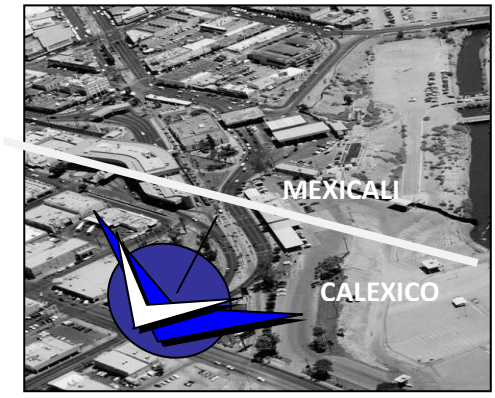


Imagen 8. Puerto de entrada Este a Calexico (Garita nueva).

3.- EL MONÓXIDO DE CARBONO.

El monóxido de carbono es uno de los contaminantes más comunes y de mayor distribución en la atmósfera. Es un gas incoloro, inodoro e insaboro, y es venenoso para el ser humano. El monóxido de carbono es resultado en la naturaleza de la oxidación del metano (CH_4), gas común producido por la descomposición de la materia, su fuente antropogénica es el uso de combustibles a base de carbón (fósiles).

Una exposición a bajas concentraciones de monóxido de carbono puede producir desde mareos y dolores de cabeza, hasta la muerte si se es expuesto a altas concentraciones. Su principal afectación a la salud humana es la producción de carboxihemoglobina (COHb) que impide el flujo de oxigeno en la sangre.

Los métodos disponibles para medir la cantidad de CO en el ambiente pueden ir desde métodos totalmente automatizados hasta métodos manuales. La formación de COHb en los humanos puede ser debido a diversos factores, por lo que se recomienda medir los niveles en lugar de calcularlos.

Como se mencionó con anterioridad el CO es considerado uno de los contaminantes criterios por EPA y México al igual que otros países adoptó esta referencia, por lo que en las ciudades de la República Mexicana donde ya se cuenta con un sistema de monitoreo se incluye el CO.

La norma de salud para el CO en México es la siguiente: NOM-021-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana publicada el 23 de diciembre de 1994 en el Diario Oficial de la Federación, la cual establece una exposición de 11 PPM en 8 horas como exposición aguda en un año.

En México no existe una norma para CO en exposiciones de 1 hora por lo que se hace referencia a la norma establecida por la EPA, para esta exposición, que es de 35 PPM en una hora en un año. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) la norma correspondería a 26 ppm. Tabla 4.

Tabla 4. Normas para el CO.

NORMAS PARA MONÓXIDO DE CARBONO			
	MÉXICO	E. U.	WHO
8 HORAS	11 PPM	9 PPM	9 PPM
1 HORA	N / A	35 PPM	26 PPM

3.1 FUENTES DE MONÓXIDO DE CARBONO.

El CO es un gas que se encuentra naturalmente en la troposfera y es producido tanto por la naturaleza como por actividades humanas.

Entre las principales fuentes de CO se encuentran la quema de combustibles fósiles, la biomasa, la oxidación del metano, entre otras.

El CO se encuentra en la atmósfera de forma natural, es parte del ciclo del carbono, el cual es principalmente gaseoso y orgánico, por lo que su proceso es

muy lento, los átomos de carbono se intercambian frecuentemente entre los organismos vivos, muertos, la atmósfera, los océanos, las rocas y el suelo.

El hombre ha cambiado el ciclo natural del carbono al utilizar de manera indiscriminada combustibles fósiles, talando bosques, cambiando en grandes extensiones el uso de suelo, en estos procesos se emite de manera natural CO_2, CH_4 y CO pero debido al impacto de las actividades del hombre, este proceso se ha interferido, generando problemas ambientales como por ejemplo, el calentamiento global.

Del total de emisiones de CO a la atmósfera se han estimado en un 60% producto de las actividades humanas y el 40% de procesos naturales (EPA, 2003). El aumento de las emisiones de CO a la atmósfera es resultado de combustiones incompletas de los combustibles fósiles principalmente.

La población se encuentra expuesta al CO en casi todos los ambientes donde se desenvuelve, dentro de los vehículos, en sus trabajos, en sus casas, etc. Dentro de la ciudad existen algunos espacios que representan un peligro para la población como por ejemplo: las calles, las banquetas, algunos cruceros con gran flujo vehicular, corredores urbanos y comerciales. Todo esto varía de acuerdo a la distancia con respecto al tráfico, la topografía y las condiciones climatológicas. Pero la mayor exposición de personas a CO ocurre en los vehículos y microambientes con altas concentraciones. La exposición a CO dentro de los vehículos puede ser de entre 9 y 25 ppm (WHO, 2000). Aunque el presente documento se dedica a documentar los efectos de la exposición en

exteriores es importante mencionar que dentro de espacios interiores también existe cierta cantidad de CO, que en el mejor de los casos es igual a las concentraciones en el exterior, y que las fuentes en interiores pueden ser las estufas, calentadores de agua, fumadores, entre otras.

3.1.1 LOS VEHÍCULOS COMO FUENTE DE EMISIÓN DE CO.

Por lo general las emisiones de un solo vehículo son bajas si las comparamos con otras fuentes como por ejemplo las chimeneas de las industrias, el problema con los vehículos es que son demasiados y no todos reciben el mantenimiento ni cuentan con los sistemas de control de emisiones adecuados.

Los vehículos son la principal fuente de monóxido de carbono, según la USEPA el 95% de las emisiones de CO en ciudades americanas es producida por los vehículos (EPA, 1999). De acuerdo al inventario de emisiones para Mexicali de 1996, el transporte representa el 91% de las fuentes de monóxido de carbono (ICARI,1999).

Durante el proceso de combustión las gasolinas y diesel, que contienen átomos de hidrógeno y carbono, en una combustión "perfecta", se mezclaría con el oxigeno del aire convirtiendo todo el hidrogeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono; en realidad esto no puede ser perfecto y lo que se produce son varios tipos de contaminantes.

Las principales emisiones contaminantes que producen los vehículos son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, material particulado, plomo, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, entre otros.

Al utilizar un vehículo se contamina el aire de diferentes maneras, por la evaporación del combustible y la combustión del mismo (Figura 5).

Figura 5. Emisiones de un vehículo.

Es por eso que para disminuir las emisiones de CO es necesario mejorar los procesos de combustión, cuando el oxigeno es insuficiente durante la combustión se forma el monóxido de carbono. Las siguientes relaciones muestran los casos de "combustión perfecta" y "combustión típica":

Combustión "perfecta".

COMBUSTIBLE (hidrocarburos) + AIRE (oxígeno y nitrógeno) »

DIÓXIDO DE CARBONO + agua + nitrógeno inalterado.

$C_nH_2N + H_2O + O_2 + N_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2$

Combustión "típica"

COMBUSTIBLE (hidrocarburos) + AIRE (oxígeno y nitrógeno) » HIDROCARBUROS NO QUEMADOS + ÓXIDOS DE NITRÓGENO + MONÓXIDO DE CARBONO + DIÓXIDO DE CARBONO + agua

$$CnH_2N + H_2O + O_2 + N_2 \rightarrow CnH_2n + 2 + NOx + CO + CO_2 + H_2O$$

En Estados Unidos, a partir de 1975 los vehículos automotores son equipados con convertidor catalítico (ARB, 2007), el cual se instala en el escape del vehículo, entre el motor y el silenciador. Utiliza metales preciosos como aluminio, platino, paladio y rodio como catalizador. Para que este dispositivo funcione correctamente es necesario utilizar gasolina sin plomo. Es por esto que el parque vehicular se vuelve una variable importante además de la calidad de los combustibles y las vialidades, entre otros.

A nivel global se ha podido identificar una disminución del CO, y que en el hemisferio norte es mayor la concentración que en el hemisferio sur. Además se observa una fluctuación dependiendo de la estación del año (WHO op.cit., 2000). Aproximadamente un 60% de las concentraciones de CO en la tropósfera de las áreas rurales es atribuido a actividades humanas, como por ejemplo las quemas agrícolas, o rellenos sanitarios.

3.2 TOXICOLOGÍA DEL MONÓXIDO DE CARBONO.

El intercambio de CO entre el aire que respiramos y el que produce el cuerpo humano es controlado por los procesos físicos y fisiológicos. El CO es

absorbido por los pulmones e introducido a la corriente sanguínea, el siguiente paso es la competencia entre el CO y el O_2 por la hemoglobina que da como resultado la formación de COHb (Carboxihemoglobina) y O_2Hb (Oxihemoglobina) respectivamente. La formación de la COHb y el decremento de la capacidad de transportar O_2 de la sangre parece ser el principal elemento de toxicidad en una exposición de bajas concentraciones. La concentración de COHb en la sangre depende de varios factores, por ejemplo: la duración de la exposición, la concentración y la ventilación pulmonar, entre otros.

3.3 EFECTOS EN LA SALUD.

Desde un simple dolor de cabeza hasta la muerte son los resultados de la exposición a monóxido de carbono en la población. Los efectos pueden variar de persona a persona debido a su edad y condición física, al tipo de actividad que realiza y donde la lleva a cabo. Los menores de edad y las personas con enfermedades son las más vulnerables a los efectos de una exposición de CO.

Como ya se mencionó la capacidad del CO de introducirse a la corriente sanguínea, provoca todos los problemas de salud, entre los que se pueden mencionar:

- Problemas cardiovasculares.
- Problemas relacionados con la capacidad pulmonar.
- Problemas cerebro-vasculares y de comportamiento.

El potencial del CO de producir problemas de salud en la mayoría de la población radica en que las concentraciones a las que la mayoría de las personas

está expuesta son relativamente bajas. Sin embargo a la exposición de CO ambiental a altas concentraciones puede ocurrir y esto lleva a una muerte accidental en la mayoría de los casos dentro de espacios cerrados sin una adecuada ventilación.

Con la información que se cuenta se pueden describir los efectos del CO en dos grupos de población bien definidos: adultos, jóvenes sanos y pacientes con enfermedades respiratorias. A partir de esta información se podría categorizar a la población por género, edad, variaciones genéticas, o por personas con enfermedades degenerativas.

3.4 PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL MONÓXIDO DE CARBONO.

Como ya se mencionó el CO es un gas insaboro, inoloro, incoloro, no corrosivo y esta formado por una molécula diatómica que se encuentra como gas en la atmósfera de la tierra (Figura 6). En la tabla 5 se presentan las propiedades físicas más importantes del CO.

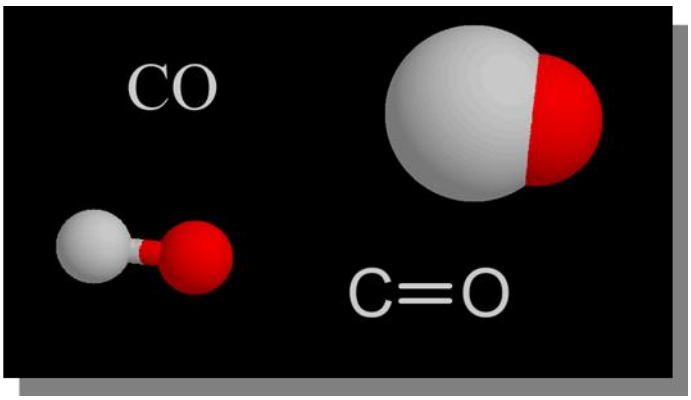


Figura 6. Molécula de CO.

Tabla 5. Propiedades físicas del CO.

Propiedad	Valor
Peso molecular	28.01
Punto crítico	140° C a 3495.7 kPa
Punto de fusión	199° C
Punto de ebullición	191.5° C
Densidad a 0°C, 101.3 kPa a 25°C, 101.3 kPa	 1.250 g/litro 1.145 g/litro
Gravedad específica relativa al aire	0.967
Solubilidad en agua a 0°C a 20°C a 50°C	 3.54 ml/100 ml (44.3 ppmm) 2.32 ml/100 ml (44.3 ppmm) 2.14 ml/100 ml (44.3 ppmm)
Límite explosivo en aire	12.5 - 74.2 %
Transición vibracional fundamental	2143.3 cm^{-1}
Factores de conversión a 0°C, 101.3 kPa a 25°C, 101.3 kPa	 1 mg/m^3 = 0.800 ppm 1 ppm = 1.250 mg/m^3 1 mg/m^3 = 0.873 ppm 1 ppm = 1.145 mg/m^3

FUENTE: National Research Council, 1977.

3.5 EL CO Y SU RELACIÓN CON VARIABLES METEOROLÓGICAS.

Las variables meteorológicas que están directamente relacionadas con la dispersión del CO, según la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos (2000) son: temperatura del aire, velocidad y dirección del viento. La estabilidad atmosférica es una variable derivada de las mediciones de velocidad y dirección del viento.

3.5.1 TEMPERATURA DEL AIRE.

La temperatura de un cuerpo es la capacidad de transmitir o recibir calor de otro cuerpo. El estudio de ésta se debe a que cuando la temperatura de un

cuerpo se modifica, sus características físicas cambian (IMTA, 1992). La temperatura del aire se pude definir como la temperatura indicada por un termómetro, expuesto al aire pero cubierto con una protección para evitar la radiación directa del sol. La temperatura del aire es usada para calcular la cantidad de incremento que puede alcanzar una pluma de aire. Se refiere principalmente a la temperatura en la superficie terrestre.

3.5.2. VIENTO.

El calor que llega a los trópicos proveniente del sol durante el año, produce una fuerte convección en estos. El aire caliente y húmedo se eleva, creando un cinturón de baja presión alrededor de la tierra en el ecuador produciendo nubes y lluvia. El aire que llega al ecuador alcanza la tropopausa y comienza a desplegarse hacia los polos, enfriándose gradualmente, por lo que disminuye de altura, hasta llegar a la longitud de 30° al norte y al sur, esto causa un incremento de temperatura generando un aire seco, en esta región es donde se encuentran la mayoría de los desiertos del mundo. Estos flujos de aire globales forman los principales sistemas de viento (Burroughs, 1997).

El viento en superficie, se considera un movimiento de conjunto del aire cerca de la superficie terrestre. El movimiento del aire raramente es regular, la turbulencia es la producción de variaciones rápidas e irregulares de la velocidad y dirección del viento (IMTA, 1992).

3.5.2.1 VELOCIDAD DEL VIENTO.

A pesar de que el viento es considerado un vector, generalmente se mide y se procesa de una forma escalar, con la velocidad del viento se puede determinar la cantidad de dispersión de un contaminante. La velocidad del viento casi nunca es constante, usualmente cambia rápida y continuamente, generalmente se mide en nudos (IMTA, op. cit. 1992). Existen dos principales tipos de sensores del viento, mecánicos (p.e. anemómetros de copa y propela) y no mecánicos (anemómetros sónicos).

3.5.2.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO.

La dirección del viento se puede definir como la dirección desde donde el viento sopla (USEPA, op. cit. 2000), esta determina la dirección hacia donde un contaminante puede ser transportado. Se expresa en grados contados en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico (IMTA, op.cit. 1992). Esta variable es medida con veletas.

3.5.3 ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

La importancia de la estabilidad atmosférica para la dispersión de contaminantes es muy importante como lo indican los trabajos que sobre modelación se ha realizado desde hace mucho tiempo (Pasquill, 1961; Arya, 1981; Seibert, 1996). Los flujos superficiales y la estabilidad atmosférica afectan la dispersión atmosférica mediante su impacto en la turbulencia de bajo nivel, la altura de la capa de mezcla y las circulaciones de mesoescala.

El movimiento vertical de los contaminantes en la capa límite está controlado principalmente por las condiciones prevalentes de estabilidad, y por tanto de la estratificación térmica del aire, es decir, la estabilidad atmosférica tiene que ver directamente con la manera en que la temperatura varía con la altura, y por tanto, con la dilución de contaminantes.

3.5.4. INVERSIONES TÉRMICAS.

La facilidad con la que el aire se puede dispersar en forma vertical, depende principalmente de cómo cambia la temperatura con la altitud (National Research Council, 2003). Es decir, el aire caliente tiende a subir y el aire frio a bajar, si este aire disminuye su temperatura por 1°C /100m, el aire se dispersa libremente en la vertical, pero si el aire disminuye menos de 1°C /100m o aumenta con la altitud, este queda atrapado y se produce una inversión térmica.

3.6 MODELOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DEL CO.

En un área urbana las concentraciones de CO en el ambiente pueden ser altas en zonas donde existe una gran acumulación de vehículos, por ejemplo en intersecciones. La agudeza del problema corresponde al número de vehículos, su movimiento y el tiempo que permanecen en la intersección, que dependerá directamente de las características de la intersección y el tráfico.

Las concentraciones obtenidas en una estación de monitoreo puede ayudar a caracterizar los niveles de contaminación de una región, pero se necesitan otras herramientas como los modelos de calidad del aire para poder predecir

los niveles de contaminación. Estos se pueden dividir en estadísticos (basados en el análisis estadístico de datos) y deterministicos (basados en las descripciones de procesos físicos y químicos que dan origen a la contaminación del aire) (Mendoza, 2006).

Entre los modelos estadísticos se encuentran dos, los de pronóstico que hacen uso de técnicas de ajuste de datos para establecer los posibles niveles de un contaminante, basándose en datos históricos, utilizando principalmente tres técnicas a) regresión multivariable b) redes neuronales artificiales, y c) series de tiempo y análisis espectral; Y los receptores que establecen contribuciones de fuentes de emisión a las concentraciones observadas en un lugar (Mendoza, op.cit. 2006)

Los modelos deterministicos, han logrado un gran avance en el empleo de modelos matemáticos que describen la emisión, transporte, formación y remoción de contaminantes. Estos sistemas están constituidos de un componente para modelar las emisiones, la meteorología, un modelo de calidad del aire, módulos de análisis y diagnóstico del modelo de calidad del aire y un módulo para la toma de decisiones. Esto ha ayudado a entender el problema de la modelación porque todos estos factores se encuentran ligados entre si (Mendoza op. cit. 2006).

Los modelos existentes para el manejo de la información de la calidad del aire, utilizan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes del aire mientras se dispersan y

reaccionan en la atmósfera. Están basados en la información meteorológica y características de la fuente, estos modelos son diseñados para caracterizar contaminantes primarios que son emitidos y en algunos casos secundarios que son resultado de procesos químicos ocurridos en la atmósfera. Estos modelos son importantes para el manejo de la calidad del aire por lo que son utilizados alrededor del mundo por agencias dedicadas a controlar la contaminación del aire para identificar las fuentes y asistir en el diseño de estrategias para reducir su impacto.

Los tipos de modelos más utilizados para el modelaje de la calidad del aire se pueden dividir en (USEPA, 2007):

- Modelos de dispersión.
- Modelos fotoquímicas.
- Modelos receptores.

Los tipos de modelos utilizados por la EPA, se dividen en modelos de dispersión que son comúnmente utilizados en el proceso de estimar las concentraciones de contaminantes a nivel de suelo en áreas que rodean a una fuente de emisión; los modelos fotoquímicos son típicamente utilizados para la regulación o políticas de valoración para estimular los impactos de todas las fuentes al estimar las concentraciones de los contaminantes y su deposición de los dos tipos de contaminantes inertes y químicamente reactivos en grandes escalas espaciales; y modelos receptores que son técnicas observacionales los cuales utilizan las características físicas y químicas de los gases y las partículas medidas en la

fuente y en el receptor para identificar la presencia y cuantificar la contribución de la fuente en las concentraciones del receptor.

La EPA utiliza los siguientes modelos:

- Modelos MOBILE, (on road vehicles)
- NONROAD Model, (Nonroad engines, equipment and vehicles).
- National Mobil Inventory Model.
- MOVES (Motor Vehicle Emissions).

Tabla 6. Modelos relacionados al CO.

Modelo	**Clase**	**Fuente**	**Sofisticación**	**Uso típico**
AERMOD	Gaussiano	Puntual, Area, Volumen.	Refinado	Instalaciones industriales
CAL3QHC	Gaussiano	Línea	Tamizado	Carreteras de 49 estados en US. Modelo para CO.
CAL3QHCR	Gaussiano	Línea	Refinado	Carreteras de 49 estados en US. Modelo para CO.
CALINE3	Gaussiano	Línea	Refinado	Carreteras de 49 estados en US. Modelo para CO.
CALINE4	Gaussiano	Línea	Refinado	Carreteras en California, modelo para CO.
HYROAD	Gaussiano	Línea	Refinado	Recientemente liberado, desarrollado para carreteras, modelo para CO.

ISC3	Gaussiano	Puntual, Área, Volumen.	Refinado	Instalaciones industriales
PAL	Gaussiano	Puntual, Área, Volumen.	Refinado	Inusual para categorizar, utilizado en estacionamientos.
SCREEN3	Gaussiano	Puntual, Área, Volumen.	Tamizado	Instalaciones industriales

Fuente: Jungers, Kear, Eisige (2006)

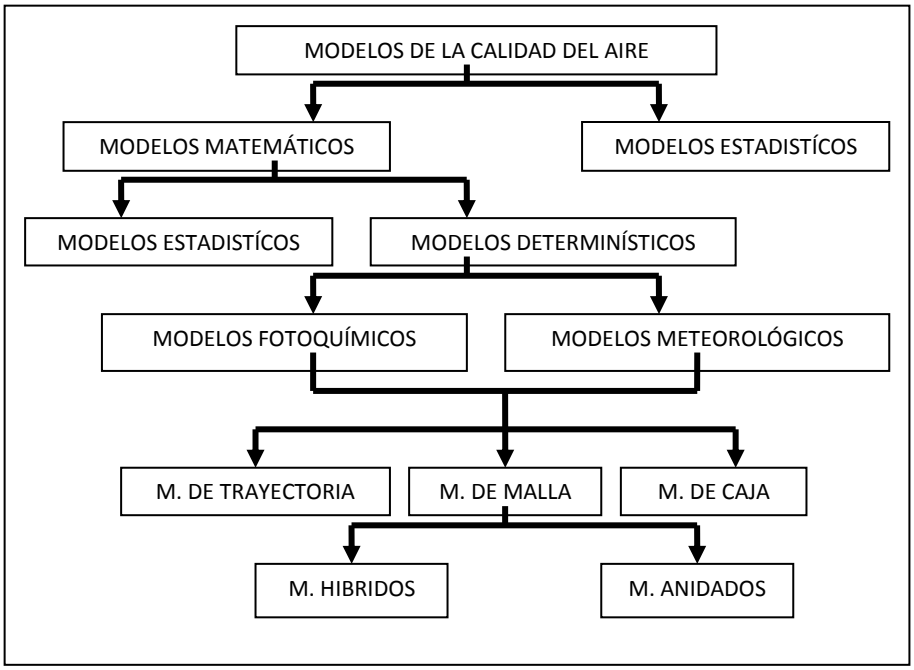
3.7 MODELOS SEGÚN LA SECRETARÍA DE MONITOREO AMBIENTAL DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.

A continuación se presenta la Tabla 7, con la clasificación de los modelos presentado por la Secretaría de Monitoreo Ambiental del Gobierno del Distrito Federal (año).

Algunos de los modelos utilizados en la modelación de la calidad del aire para la documentación de los efectos ambientales para proyectos relacionados con el transporte son presentados por Jungers, Kear, Eisinge (2006), y se hace un resumen de su estudio el cual se muestra en la Tabla 8.

Los modelos del tipo gaussiano utilizan la ecuación de Gauss, la cual trata las emisiones de una fuente dada como pluma que se dispersa viajando en el sentido del viento y dispersándose en sentido vertical y horizontal de acuerdo a la altura de la fuente y la velocidad y dirección del viento.

Tabla 7. Modelos utilizados por la Secretaría de Monitoreo Ambiental del Gobierno del Distrito Federal.



Fuente: Secretaría de Monitoreo Ambiental del Gobierno Del Distrito Federal.

Existen diferentes estudios realizados para elaborar modelos que puedan representar de una manera más exacta las características de cada región, por ejemplo para cruces con señales de semáforos en Italia (Gualtieri & Tartaglia. 1996), en el que se comparan modelos gausianos con un acercamiento empirico para predecir las concentraciones de CO en cruceros semaforizados de la ciudad de Florencia, Italia; evaluación de modelos y fuentes móviles en Alaska (Dames & Moore 1986), características de manejo en Australia (Washington & Young, 1995), en el que se describe que para obtener una predicción mas exacta de emisiones de CO es necesario obtener información de cada segundo

para alimentar los modelos utilizados; en Houston, Texas Crawford et.al. (1999), compararon las emisiones de vehículos en carretera y en vialidades congestionadas, y encontraron que las emisiones eran mayores en las carreteras; el modelo para estimar las emisiones de fuentes móviles en mSantiago de Chile (Osses et.al. 2000), estima las emisiones de algunos contaminantes, incluso puede estimarlos en frio o en caliente según sea el caso del vehículo; Investigación dentro de vehículos en tráfico en Honolulu, Hawái (Flachsbart, 1999), en el que se desarrollan modelos estadísticos para predecir las concentraciones de CO dentro de los vehiculos en carreteras de Honolulu; medición y predicción de CO en Hong Kong (Wang et al. 2006), en el que se encontró una estrecha relación entre las estaciones de monitoreo y las predicciones realizadas de CO cerca de las vialidades estudiadas; análisis de los factores que influyen en la predicción de CO para Phoenix, Arizona (Comrie & Diem, 1999), que comparó las relaciones entre meteorología, el tráfico y el CO, donde se encontraron estrechas relaciones entre estos factores.

3.8 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

Para tomar una decisión es necesario disponer de algunas bases, la estadística descriptiva ayuda a tomar estas decisiones con la ayuda de algunos procedimientos.

La distribución de frecuencias es una tabla que divide un conjunto de datos en un número de clases apropiadas, donde se puede observar el valor máximo, el valor mínimo, rango, intervalos, marca de clase, y frecuencias. Su

representación grafica más común son los histogramas y los diagramas de barras.

Las medidas de tendencia central, son los valores de un conjunto de datos que se encuentran como su nombre lo indica al centro, las mas comunes son la media (μ) que es el equivalente al promedio aritmético de todos los valores de la muestra, la moda (X_m) es el valor que se presenta con mayor frecuencia en la muestra y la mediana ($\sim x$) la mitad de las observaciones debe tener un valor menor o igual al de la mediana y la otra mitad debe tener un valor mayor.

Las medidas de dispersión proporcionan idea de la variabilidad de las observaciones en un conjunto de datos. Las mas comunes son la varianza (S^2) que se define como el promedio de la suma de los cuadrados de las distancias que hay entre los datos y su media, la desviación estándar (S) que es la parte positiva de la raíz cuadrada de la varianza; el coeficiente de variación (v) que es la relación que existe entre la desviación estándar y la media, se da en porcentaje y a mayor valor de dicho porcentaje, se tendrá una mayor dispersión.

3.9 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL.

Este tipo de análisis es probablemente la técnica estadística más usada, y sirve para investigar y modelar la relación entre dos o más variables (Montgomery, Peck & Vining, 2012). Se utiliza en casi todos los campos, desde la ingeniería, hasta las ciencias sociales.

3.9.1 REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.

El modelo de regresión lineal simple, es un modelo con una sola variable independiente x, que esta relacionado con una variable dependiente y, donde la relación es una línea recta, donde la ordenada al origen β_0 y la pendiente β_1 son constantes desconocidas y ε es el error.

El modelo queda definido por: $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$

Se supone que los errores tienen promedio cero y varianza desconocida, además de que se supone no están correlacionados.

Para la estimación de β_0 y β_1 se usa el método de mínimos cuadrados, esto es para lograr el mejor ajuste y que los valores de la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones y_i y la línea recta sea mínima.

Al utilizar esta técnica es necesario poner atención al seleccionar las variables que se trabajan, ya que pueden no tener una relación aun cuando los resultados del análisis sean satisfactorios (Montgomery & Runger, 2005).

Para evaluar la adecuación de un modelo de regresión, es necesario hacer un análisis de residuales $e_i = y_i - \hat{y}_i$, $i = 1, 2, \ldots, n$, donde y_i es una observación real, $\hat{y}_i$ es el valor ajustado correspondiente con el modelo de regresión. Otra prueba es la de el Coeficiente de determinación R^2, este se puede definir como la cantidad de variabilidad explicada por el modelo de regresión, y toma valores ente 0 y 1 es decir $0 \leq R^2 \leq 1$ (Montgomery & Runger op.cit. 2005).

3.9.2 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.

En muchos casos los análisis de regresión incluyen situaciones en que existen mas de una variable independiente, a este tipo de modelos de regresión se les llama modelos de regresión lineal múltiple. $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$.

Para medir la adecuación del modelo obtenido se puede utilizar el coeficiente de determinación múltiple R^2, al igual que en el caso de regresión lineal simple debe ser $0 \leq R^2 \leq 1$. De la misma forma que en la regresión lineal simple es necesario hacer un análisis de residuales $e_i = y_i - \hat{y}_i$, para juzgar la adecuación del modelo. Es bueno graficar los residuales contra las variables para visualizar el uso o no de una variable. El coeficiente de correlación p es la medida de la intensidad de la relación de las variables independientes con la variable dependiente.

3.10 SERIES DE TIEMPO.

Una serie de tiempo (ST) es una colección de datos secuenciados tomados a través del tiempo, ejemplos de estas series se pueden observar en una variedad de campos, desde la economía hasta la ingeniería, y los métodos de análisis de series de tiempo constituyen un área importante de la estadística (Chatfield, Ch. 2004)

Existen diferentes tipos de ST, de acuerdo al campo en el que se aplican, en esta investigación se aplica las series de tiempo físicas. Muchos tipos de ST pueden ocurrir en las ciencias físicas, particularmente en la meteorología, ciencias marinas y en la geofísica, por ejemplo la temperatura del aire medida

cada hora, promedios diarios, mensuales, máximas o mínimas, generalmente estos datos son graficados, y usualmente esto es suficiente para tener un comparativo de estas mediciones, sin embargo para un análisis mas detallado es necesario convertir esta información en ST apropiadas para análisis mas profundos. El análisis resultante es mas adecuado y puede ser leído y manejado por cualquier software comercial.

Las ST, se identifican con una serie de términos adecuados al lenguaje estadístico, así tenemos que una ST es continua cuando las observaciones son hechas continuamente en el tiempo, esto es aplicado cuando la variable medida puede solo tomar una serie de valores discretos. Una ST es discreta, cuando las observaciones son tomadas en tiempos específicos, usualmente con un espaciamiento igual. El término discreto es usado incluso cuando la variable medida es una variable continua.

Cuando una ST puede ser predicha exactamente con valores pasados se dice que es determínistica. La mayoría de las ST son estocásticas, ya que los valores futuros pueden ser solo parcialmente determinados por los valores pasados, así que las predicciones exactas pueden ser reemplazadas por la idea de que los valores futuros tienen una cierta distribución, la cual esta condicionada por los valores pasados.

Existen diferentes objetivos para el análisis de una ST, estos pueden ser descripción, explicación, predicción y control. La descripción se refiere a la primera etapa del análisis y consiste en graficar la serie de datos original, para

observar la tendencia, buscar alguna variación estacional, o puntos fuera de lo normal. El siguiente objetivo es el de la explicación, cuando se cuenta con dos o mas variables, se puede usar la variación de una para explicar la otra, esto lleva a un entendimiento mas profundo del mecanismo que genera la ST. Los modelos de regresión múltiple no son muy adecuados para este tipo de datos, ya que requieren de una gran cantidad de consideraciones y correcciones, en estos casos se busca por otra alternativa, los sistemas lineales, que convierte a una serie de entrada en una ecuación lineal. La predicción seria el siguiente objetivo del análisis de una ST, es decir en base a una ST uno puede predecir valores futuros. Finalmente el control se logra mediante la observación de los niveles en que una ST ha operado.

Los componentes de una serie de tiempo serán: la tendencia, que representa los movimientos de larga duración; ciclos, oscilaciones alrededor de la tendencia; estacionalidad, movimiento periódico que se produce dentro de un periodo definido y es repetitivo; irregularidad, prácticamente impredecible y obedece a causas diversas.

3.11 TÉCNICA ARIMA.

Para desarrollar este tema, no es necesario conocer otras variables, solamente se necesita una serie temporal de la variable en estudio, se apoyó en la técnica de Modelos de Promedio Móvil Autoregresivo (ARIMA, por sus siglas en Inglés), basada en los modelos de Box-Jenkins, en esta técnica lo que se trata de hacer es generar un modelo basado en una serie temporal conocida, es decir predecir el futuro en base al pasado.

Para la estimación de la técnica ARIMA, se utiliza un algoritmo de mínimos cuadrados, para minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, el algoritmo busca si otro vector de parámetros mejora el valor de la función objetivo y se produce un proceso de interacción hasta que se alcanza el mejor valor.

En la identificación lo que se busca es que la serie de trabajo sea estacionaria, lo cual se considera cuando la media y la varianza son constantes. El orden de integración se refiere al número de veces que una serie debe ser diferenciada para obtener una estacionalidad. Esta se define en la técnica ARIMA por el parámetro "d". Para determinar "p" y "q" se emplean la función de autocorrelación simple y parcial.

Una vez estimado el modelo ARIMA, se pasa al proceso de verificación, donde se revisan los valores de los parámetros, se revisan los errores estándar de los residuales y el análisis de los residuos.

El pronóstico se realiza una vez que se ha cumplido con los pasos anteriores y esto se hace con la finalidad de realizar pronósticos con el menor error de predicción.

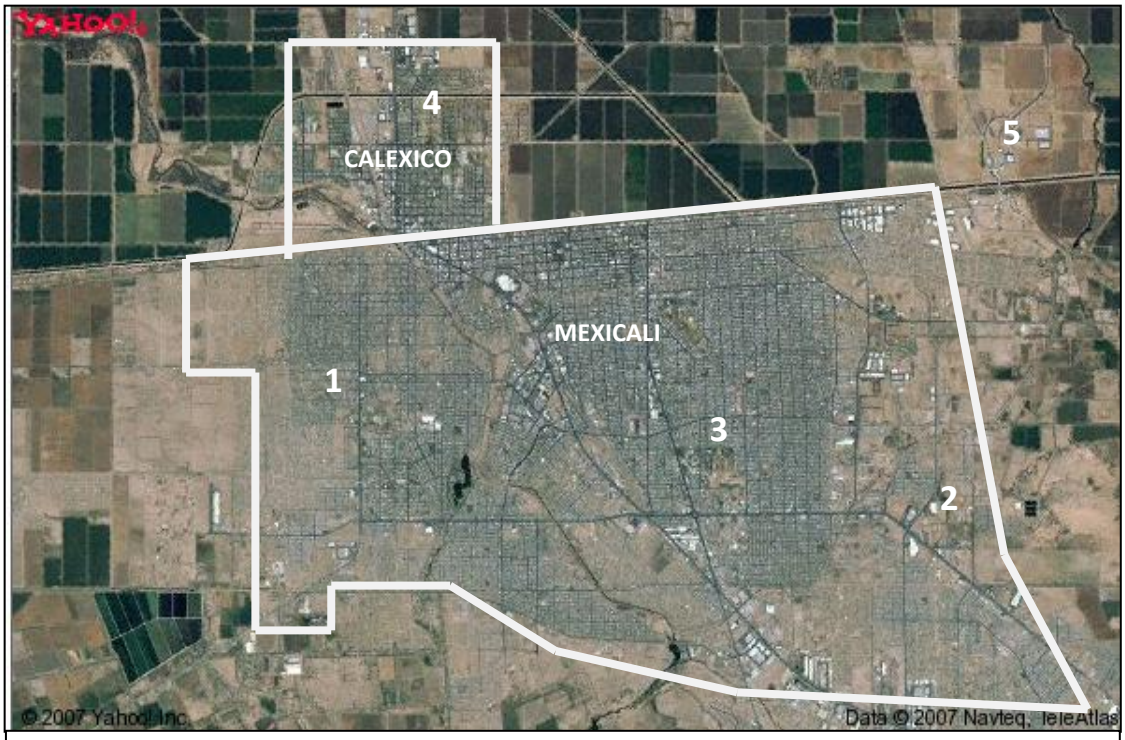
4. MATERIALES Y MÉTODO.

En esta investigación se utilizó la base de datos del Air Quality System (AQS, por sus siglas en Inglés) de Estados Unidos, y datos generados mediante trabajo de campo.

Se emplea el procedimiento de regresión lineal múltiple, así como la técnica ARIMA (Autoregresive Integrated Moving Averages), que es una de las técnicas más utilizadas en el proceso de pronostico de series de tiempo, para la obtención de un modelo. Ambas técnicas ya fueron descritas en el capítulo anterior.

4.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE CO Y METEOROLÓGICOS.

La base de datos de CO y meteorológicos con la que se realizó el análisis corresponde a los años de 2000 al 2005, esta consiste de promedios horarios, por estación de monitoreo y con esta se generaron promedios diarios, mensuales y anuales. Dicha información se obtuvo del sistema de calidad del aire de Estados Unidos. Se utilizó información de tres estaciones localizadas en Mexicali, Colegio de Bachilleres (COBACH), Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM) y Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y dos en Calexico, California (Ethel, East Port) para realizar una mejor caracterización espacial del CO a nivel regional (Imagen 9). Con esa información procesada se realizó un análisis detallado tanto del CO como de las diferentes variables meteorológicas (temperatura del aire, velocidad y dirección del viento) para cada estación de monitoreo previo un análisis de calidad de esa información que se detalla enseguida.



1.-COBACH. 2.-ITM. 3.-UABC. 4.-ETHEL. 5.-EAST PORT.

Imagen 9. Ubicación de las estaciones de monitoreo.

4.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN.

Una vez obtenida esta información fue necesario su tratamiento. Como se dispuso en formato PDF, se convirtieron a archivos de texto con extensión TXT; una vez en este formato, se convirtió a hojas de calculo de XLS y a continuación se construyeron gráficas en Microsoft Excel para una interpretación preliminar de los parámetros analizados y descartar información irrelevante.

Se graficaron inicialmente las máximas concentraciones de los años de estudio para las estaciones de monitoreo de Mexicali; (COBACH, UABC e ITM) y

Calexico (Ethel y East Port of Entry), para tener de una manera visual, los resultados del monitoreo a lo largo del periodo de estudio.

4.3 ANÁLISIS ESPACIAL DEL CO.

Para el análisis espacial se utiliza el programa SURFER donde se generan las imágenes que finalmente se insertaran en el plano de la ciudad utilizando el programa AUTOCAD para obtener imágenes con la distribución espacial del CO en el área urbana de la ciudad de Mexicali; con estas imágenes se identificó las zonas con mayor problema por las concentraciones de CO.

4.4 ELABORACIÓN DE ROSAS DE VIENTO.

Posteriormente se elaboraron las rosas de viento y las rosas de contaminación, mediante el programa WRPLOT que se obtuvo de la pagina de Lakes Environmental (http://www.weblakes.com/lakewrpl.html) a diferentes escalas, y épocas del año y en cada una de las estaciones de monitoreo para comprender de una mejor manera el comportamiento a micro escala.

4.5 AFOROS VEHICULARES.

Para tener una visión general de lo que es el tráfico de vehículos cerca de las estaciones se realizó un aforo en diciembre de 2007, cerca de las estaciones de monitoreo en Mexicali, y se comparó con los datos proporcionados por el Instituto de Ingeniería, en el Atlas de tránsito vehicular de la ciudad de Mexicali.

Para esta campaña se utilizaron contadores manuales; los aforos se realizaron los días jueves, viernes y domingos, en horarios considerados como críticos es decir, por la mañana, al mediodía y durante la tarde-noche, en periodos de quince minutos por punto, en ambos sentidos. En esta campaña se consideró un conteo total de los vehículos que transitaban por la vialidad, y anotando de cuantos ejes era cada vehículo.

En un siguiente paso esto nos lleva a estimar un factor de emisión para los vehículos que circulan por las vialidades cercanas a las estaciones de monitoreo.

4.6 ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

La estimación de la estabilidad atmosférica en la capa superficial es de gran importancia para el estudio de los episodios de contaminación, de los varios métodos disponibles se utilizó el método de desviación estándar de la dirección horizontal del viento.

Esta fue determinada con las mediciones de la dirección y velocidad del viento aplicando el método Sigma Theta, basado en la turbulencia del viento, primeramente se calcula la desviación estándar de la dirección del viento y después se le aplica un factor de corrección.

Los datos con los que se trabajo este método fueron obtenidos del AQS. Los criterios de este método se muestran en la Tabla 8 (Pasquill, 1961). Para

estimar la estabilidad atmosférica a partir de la desviación estándar de la dirección del viento (σA), se consideran 6 categorías.

Tabla 8. Estimación inicial de estabilidad (Para usarse con Tabla 9).

ESTIMADOR INICIAL DE CATEGORÍA DE ESTABILIDAD PASQUILL-GUIFFORD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ÁNGULO DE AZIMUTH DEL VIENTO	
A	22.5 ≤ σ A	EXTREMADAMENTE INESTABLE
B	17.5 ≤ σ A < 22.7	MODERADAMENTE INESTABLE
C	12.5 ≤ σ A < 17.5	LIGERAMENTE INESTABLE
D	7.5 ≤ σ A < 12.5	NEUTRAL
E	3.8 ≤ σ A < 7.5	LIGERAMENTE ESTABLE
F	σ A < 3.8	MODERADAMENTE ESTABLE
G	2.1	EXTREMADAMENTE ESTABLE

La EPA en sus procedimientos (USEPA, 2000) hace una corrección a estos valores en 1986 y aplica la tabla 9 para considerar las categorías de estabilidad.

Tabla 9. Ajuste por velocidad del viento para usar con Tabla 8.

	ESTADO INICIAL, CATEGORIA P-G	VELOCIDAD DEL VIENTO	CATEGORIA FINAL
DIURNO	A	u<3	A
	A	3 ≤ u < 4	B
	A	4 ≤ u < 6	C
	A	6 ≤ u	D
	B	u < 4	B
	B	4 ≤ u < 6	C
	B	6 ≤ u	D
	C	u < 6	C
	C	6 ≤ u	D
	D, E, F	CUALQUIERA	D
NOCTURNO	A	u < 2.9	F
	A	2.9 ≤ u < 3.6	E
	A	3.6 ≤ u	D
	B	u < 2.4	F
	B	2.4 ≤ u < 3.0	E
	B	3.0 ≤ u	D
	C	u < 2.4	E
	C	2.4 ≤ u	D
	D	CUALQUIERA	D
	E	u < 5	E
	E	5.0 ≤ u	D
	F	u < 3	F
	F	3 ≤ u < 5	E
	F	5 ≤ u	D

Para analizar estos datos se utilizó una hoja de cálculo, donde se introducían los valores horarios de las variables y de esta forma se podía ir conociendo la categoría apropiada ya ajustada de acuerdo a la velocidad del viento.

4.7 ESTIMACIÓN DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS.

La información se exporto al programa STATISTICA (Ver. 6.0) para realizar cálculos estadísticos básicos, tal como estimación de medidas de tendencia central y de variabilidad, poniendo especial atención en las varianzas en cada una de las estaciones de monitoreo.

Se analizó la información para cada una de las estaciones por medio de estadísticas descriptivas, los valores máximos, mínimos, rangos, medias, modas, medianas, varianza, desviación estándar, para observar algún comportamiento inusual en la información.

4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE.

Se propusieron varios modelos de regresión lineal y múltiple con el CO como variable dependiente y la temperatura del aire, velocidad del viento, dirección del viento y aforo vehicular como variables independientes. Esto se realizó como un primer acercamiento al desarrollo del modelo de predicción del CO. El software utilizado fue el STATISTICA. El diagrama con los softwares utilizados se presenta en la Figura 7.

A continuación se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, con las variables independientes TA, VV y DV, obteniendo un modelo previo, a

continuación se le incorporaron otras variables AFOROS y EA, en estos ejercicios se midió su adecuación por medio del coeficiente de determinación, así mismo se observó los resultados de los residuales por medio de gráficas y finalmente el coeficiente de correlación se consideró aceptable. Con estas cinco variables se logro mejorar el modelo, obteniendo de esta manera un modelo provisional, aunque el objetivo de esta investigación es lograr un modelo mediante la técnica ARIMA.

Se utilizaron estas técnicas para conocer el grado de relación entre CO y las variables propuestas; estas técnicas permiten predecir una variable dependiente en base a variables independientes. Se utilizó el software STATISTICA V 6.0 por ser un paquete que contempla la utilización de varias técnicas de estadística multivariable.

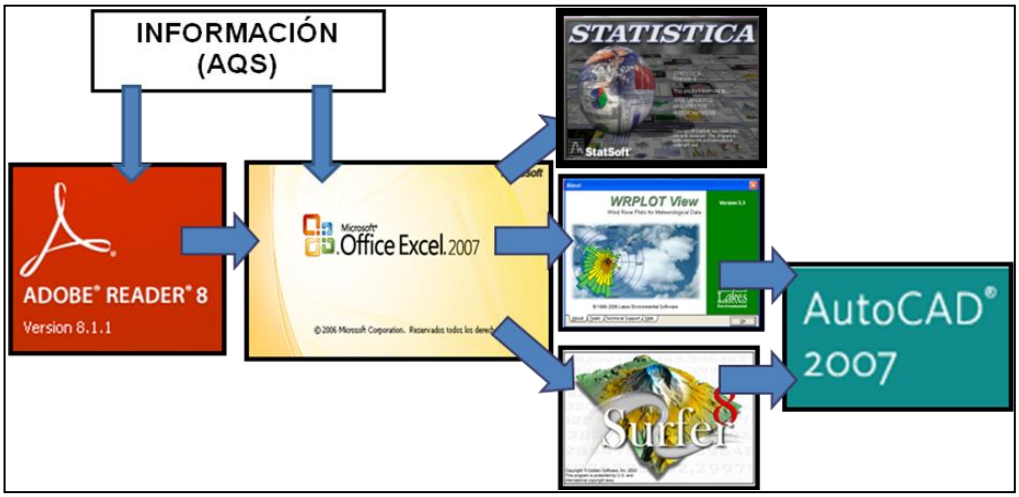


Figura 7. Diagrama de los programas utilizados.

4.9 SERIES DE TIEMPO.

Las series de tiempo (ST) utilizadas en esta investigación corresponden a los datos de Enero del 2000 a Diciembre de 2005, para las estaciones de UABC, COBACH e ITM. Correspondiendo estos datos a los promedios horarios, es decir 2,191 datos para UABC, 1,904 datos en ITM y 1,796 en COBACH.

4.9.1 TÉCNICA ARIMA.

En la utilización de esta técnica se deben seguir los procedimientos de Identificación, Estimación, Verificación y Pronóstico. A continuación se detalla cada uno de ellos.

4.9.1.1 FASE DE IDENTIFICACIÓN.

Primeramente se graficó cada una de las ST, para identificar alguna tendencia, ciclo, estacionalidad o irregularidad. Se les aplicó un logaritmo natural, por considerar que esta función corregía la tendencia apreciada, a continuación se le aplicó una diferenciación de un lag, para eliminar los ciclos que aún se observaban, y finalmente otra diferenciación en un lag 7, por considerar un ciclo semanal y finalmente con este ajuste se logró obtener una serie de datos con la cual se trabajo la técnica ARIMA. En cada una de las fases anteriores se cuidó de cumplir con los requisitos de esta técnica, como por ejemplo: las autocorrelaciones, la normalidad de los residuales.

4.9.1.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.

Una vez lograda la identificación de los valores para (p,d,q) y (P,D,Q), se pudó continuar con la aplicación de la técnica ARIMA, en este caso se hizo un ensayo con varios parámetros y varios lags.

4.9.2 FASE DE PRONÓSTICO.

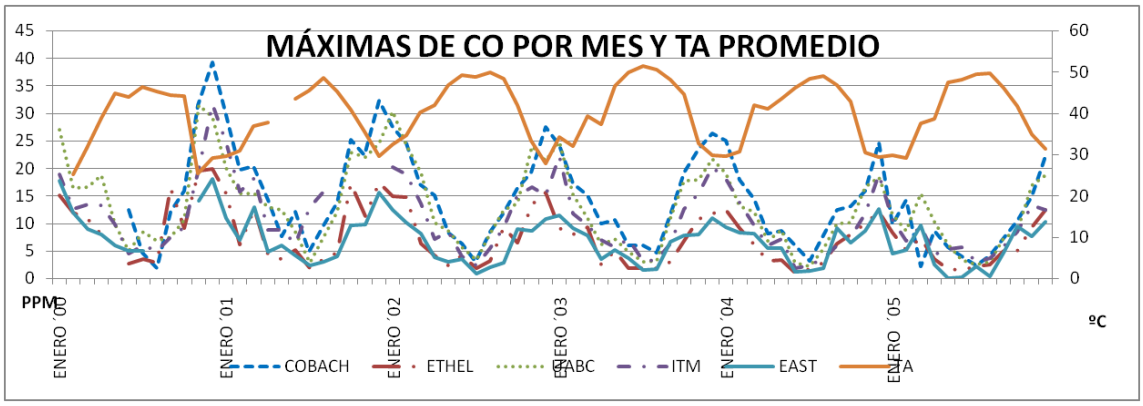
En una segunda fase se realiza la técnica ARIMA, con la aplicación de esta, se logró un buen pronóstico para los valores correspondientes a los meses de invierno, quedando un poco desfasados los pronósticos para el verano, en esta etapa se atendió el resultado de la normal de los residuales, siendo esto uno de los requisitos de la técnica ARIMA.

5. RESULTADOS.

5.1 ANÁLISIS TEMPORAL DEL CO Y SU RELACIÓN CON OTRAS VARIABLES.

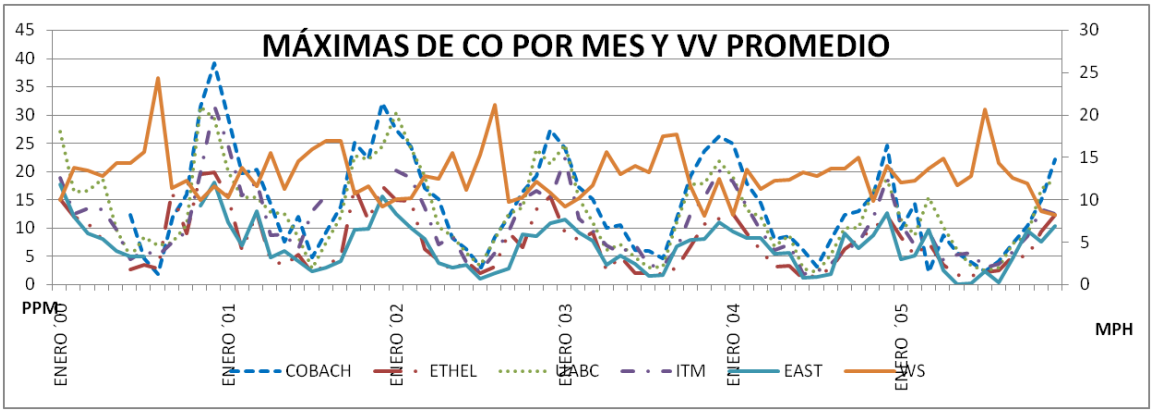
Análisis de los datos de las estaciones de monitoreo.

Al graficar las máximas concentraciones por estación a lo largo del periodo de estudio, se puede observar un ciclo anual, y que va desde los meses de invierno con altas concentraciones de CO hasta los de verano, donde disminuyen dichas concentraciones, esto inversamente a los datos de Temperatura del Aire (TA), que disminuyen durante el invierno y aumentan en el verano. La Grafica 4 muestra estas relaciones entre los valores máximos de CO y los promedios de TA para el periodo de estudio. Estas relaciones se pueden observar en la escala anual. Además se identifica una tendencia a disminuir las concentraciones de CO en las estaciones de monitoreo analizadas. Aquí se observa como la estación del COBACH, cuenta con las mayores concentraciones de CO, mientras que la estación EAST, es quien presenta los menores problemas de contaminación por CO.



Grafica 4. Máximas de CO vs TA.

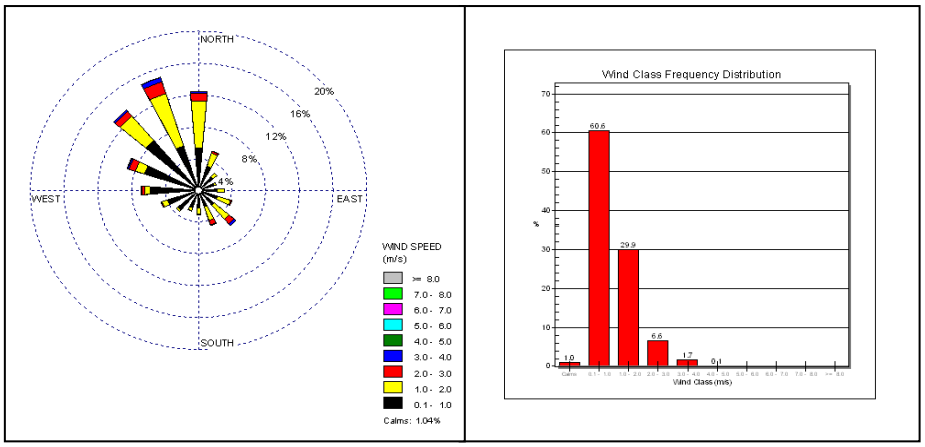
En la Grafica 5, se muestra las máximas de CO comparadas con la Velocidad del Viento (VV), aquí también se puede observar en una escala anual, como la tendencia es a la inversa entre ambas variables, durante los meses de invierno el CO presenta altas concentraciones y la VV disminuye, y en los meses de verano el CO disminuye y la VV aumenta.



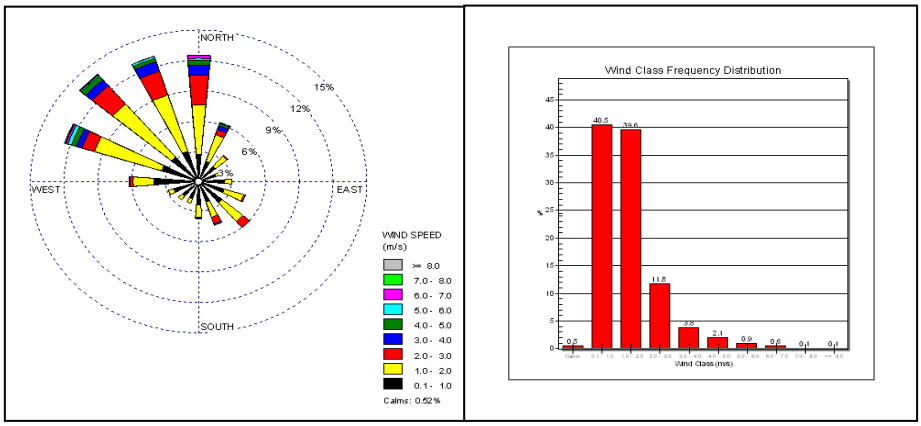
Grafica 5. Máximas de CO vs VV.

En cuanto al comportamiento intraurbano en Mexicali del viento, con información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM) y Colegio de Bachilleres (COBACH), de los años 2000 al 2005 se tuvo el comportamiento que a continuación se describe (figuras 8 a 13). La dirección dominante en el mes de enero para la estación UABC e ITM fue del cuadrante norte-oeste, con un 55% y un 59% del tiempo, respectivamente, mientras que para COBACH, en este cuadrante (norte-oeste) fue del 38%, siguiéndole el cuadrante este-sur, con un 34 % del tiempo. En cuanto a las intensidades de viento, las menores velocidades se registraron en UABC, siguiéndole ITM y por último COBACH con las mayores velocidades registradas. En UABC el 90% del tiempo del mes de enero se registraron

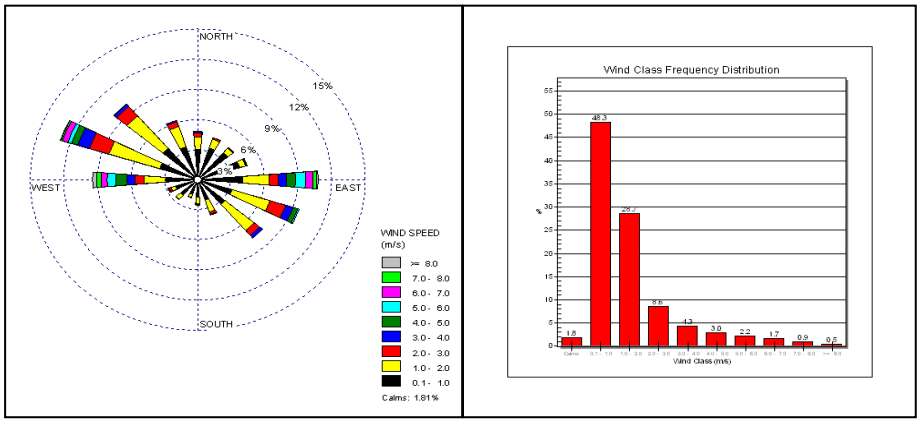
intensidades entre 0.1 y 2.0 m/s, en ITM el 40.5%, mientras que en COBACH el 48.3%. El 3.1% del tiempo estuvieron soplando velocidades de viento superiores a 6 m/s en COBACH, mientras que en ITM solamente un 0.8%.



Figuras 8 y 9. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Enero (2000-2005).

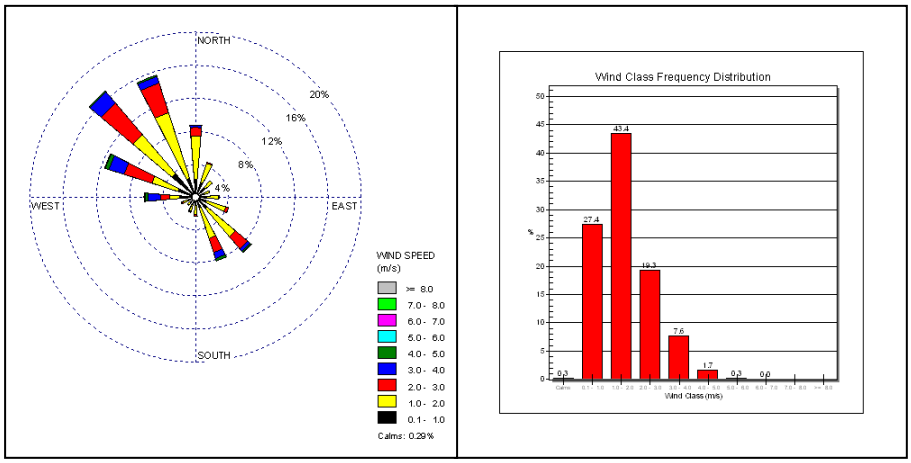


Figuras 10 y 11. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Enero(2000-2005).

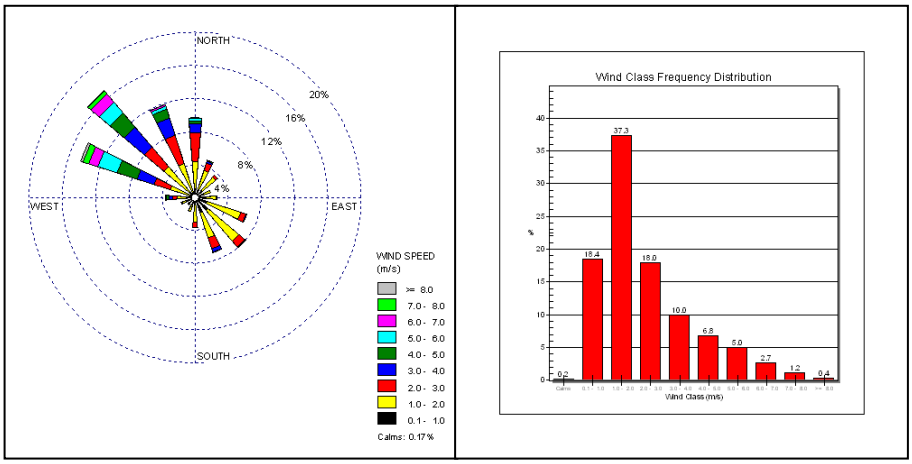


Figuras 12 y 13. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Enero (2000-2005).

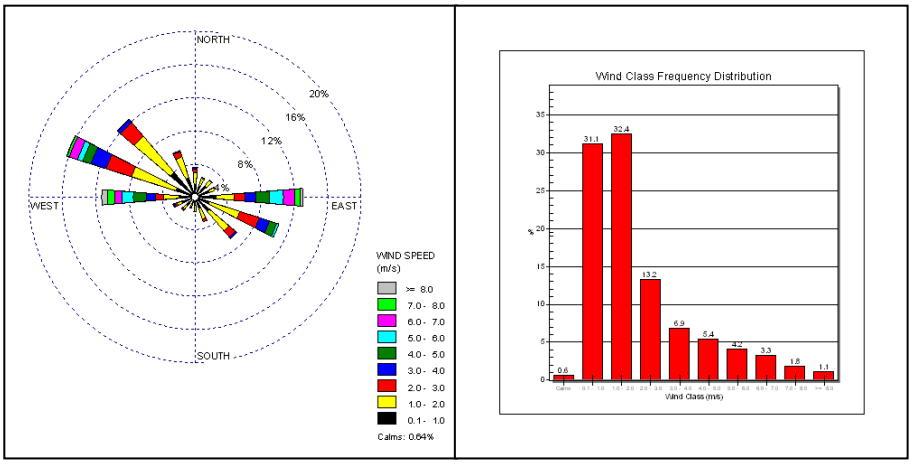
En el mes de abril, mes representativo de la primavera, continúan presentándose con mayor frecuencia de ocurrencia los vientos del cuadrante norte-oeste, tanto en UABC como en ITM y COBACH (figuras 14, 16 y 18), pero ahora con mayor intensidad, sobre todo en estas dos últimas, como puede verse de los histogramas de frecuencia (figuras 15, 17 y 19). En COBACH la frecuencia direccional de ocurrencia del cuadrante este-sur es del 33% del tiempo, con velocidades superiores a los 8 m/s de dirección este.



Figuras 14 y 15. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Abril (2000-2005).



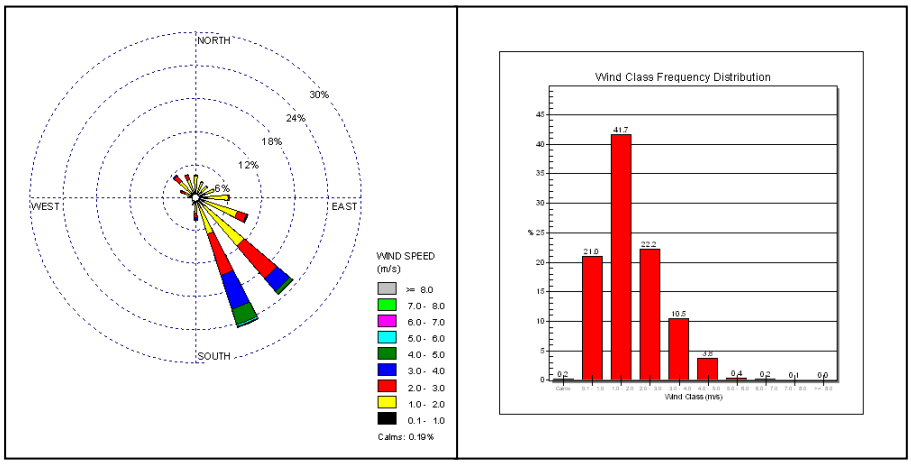
Figuras 16 y 17. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Abril (2000-2005).



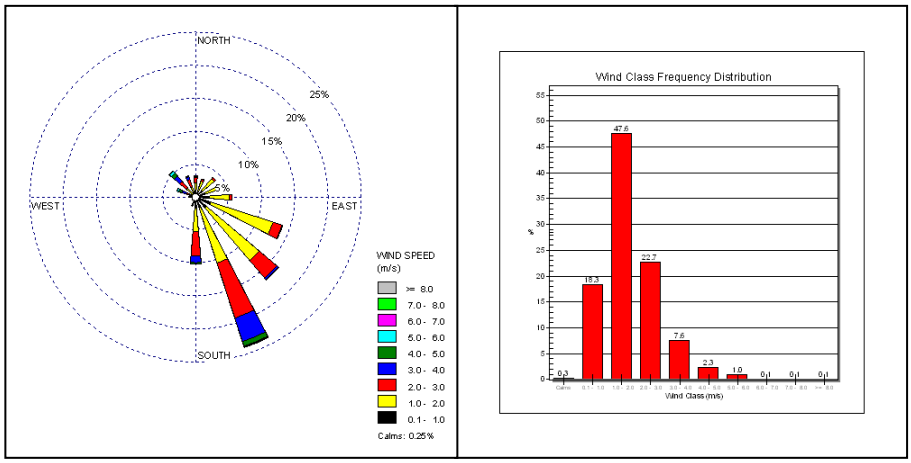
Figuras 18 y 19. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Abril (2000-2005).

En el mes de julio, mes representativo del verano se observa que se presenta un cambio en el flujo direccional (figuras 20, 22 y 24), los vientos de mayor frecuencia son del cuadrante este-sur, tanto en UABC, como en ITM; los vientos más frecuentes estuvieron en el rango de 1.0 a 2.0 m/s con el 41.7% y el 47.6%, respectivamente (figuras 21, 23 y 25). En la estación COBACH la

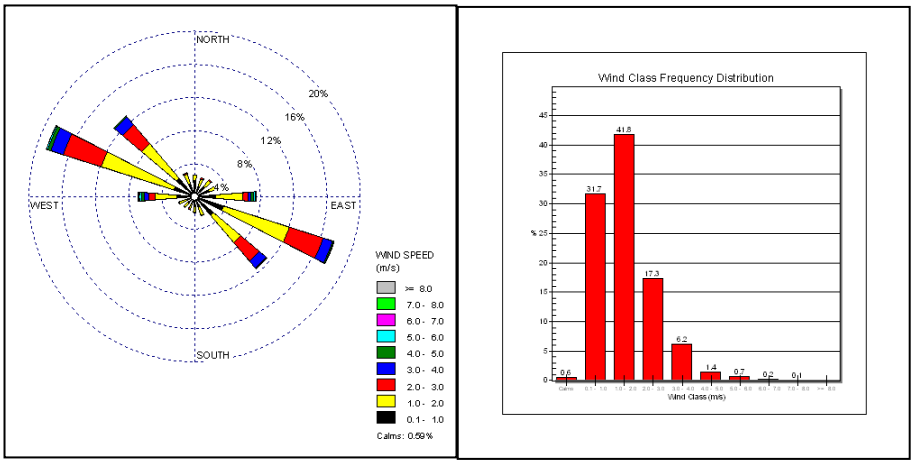
mayor ocurrencia en la dirección del viento continua siendo del cuadrante norte-oeste, con un 42% del tiempo, mientras que del cuadrante este-sur, un 39%.



Figuras 20 y 21. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Julio (2000-2005).

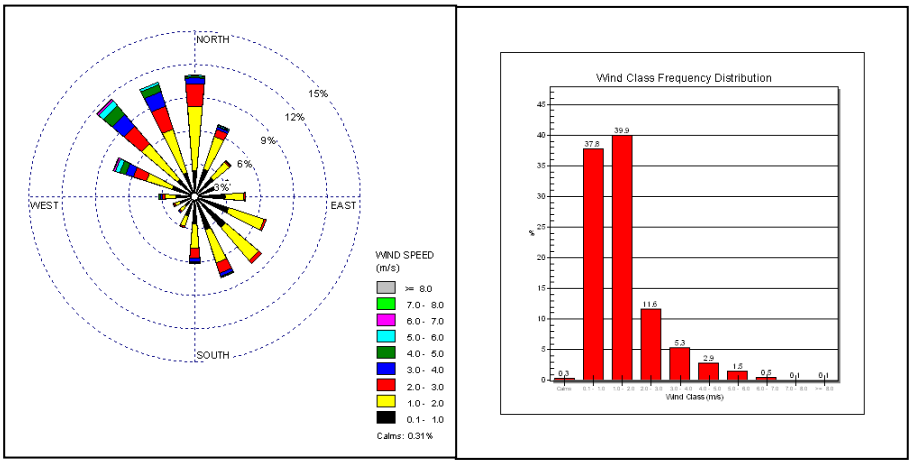


Figuras 22 y 23. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Julio (2000-2005).

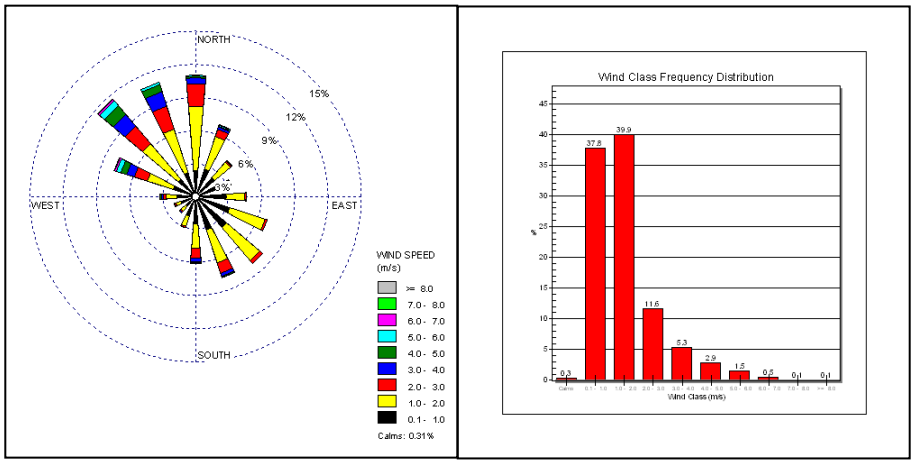


Figuras 24 y 25. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Julio (2000-2005).

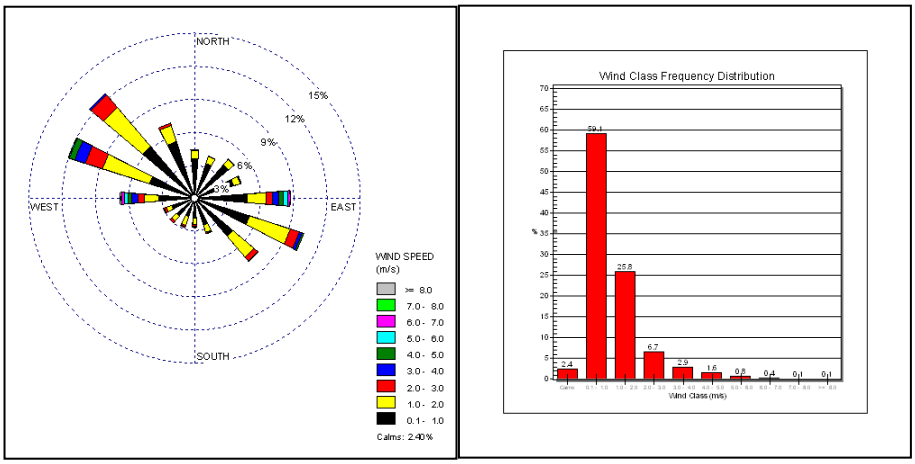
Para octubre, que es un clásico mes de transición entre el verano y el invierno, la frecuencia direccional estuvo repartida en varios sectores, destacando los cuadrantes norte-oeste y este-sur (Figuras 26, 28 y 30). Se observan velocidades de viento mayores de 6 m/s, pero en lo general predominaron las bajas velocidades; en el rango de 0.1 a 2.0 m/s aparecen con más del 70% (Figuras 27, 29 y 31), mientras que las calmas se presentaron con mayor frecuencia en COBACH con un 2.4% del tiempo (Figura 37).



Figuras 26 y 27. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC Octubre (2000-2005).

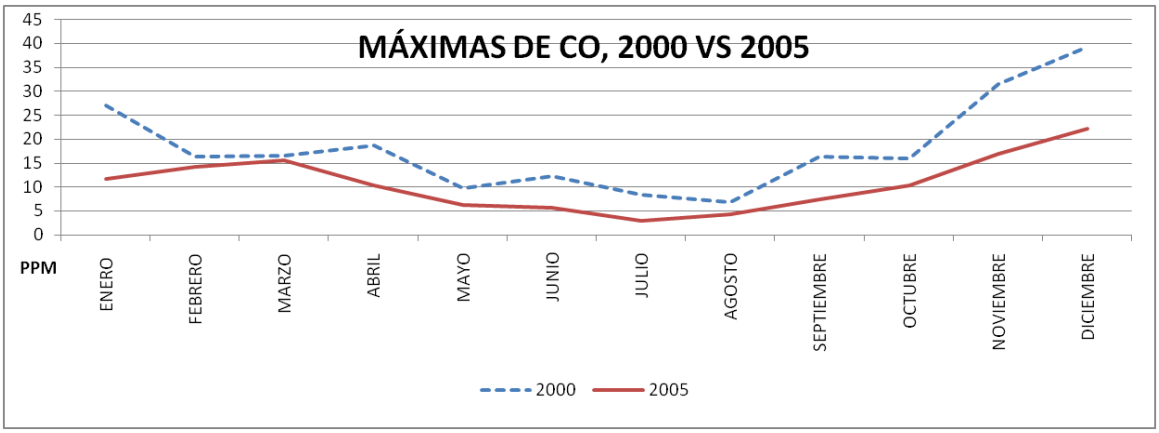


Figuras 28 y 29. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación ITM Octubre (2000-2005).



Figuras 30 y 31. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación COBACH Octubre (2000-2005).

Al comparar el promedio de las máximas concentraciones de CO para los años 2000 y 2005 en la Grafica 6, se hace evidente la tendencia a disminuir del CO en Mexicali, se puede observar como durante el mes de diciembre de 2000 pasa de casi 40 ppm, a 22 ppm durante diciembre de 2005.



Grafica 6. Máximas de CO para 2000 y 2005.

5.2 ANÁLISIS ESPACIAL DEL CO.

La distribución espacial del CO para el periodo comprendido entre 2000 y 2005 se presenta en la figura 32, donde se puede observar como las mayores

concentraciones se dan en la región oeste de la ciudad, coincidiendo con una zona de la ciudad de nivel socioeconómico medio bajo, además de que se encuentra la parte más baja de la ciudad que corresponde a la zona del Río Nuevo.

En esta figura, se puede observar también, la cantidad de personas que resultan afectadas por la contaminación de CO, además que durante los episodios de contaminación estos ocurren en toda la ciudad, es decir, no existe un punto donde afecte menos a la población, lo que si se puede identificar son las zonas donde las emisiones son mayores, siendo estas las vialidades principales y las zonas de la ciudad donde se presentan quemas domiciliarias sobre todo durante el mes de diciembre.

Esta representación de la distribución del CO nos puede ayudar a identificar las zonas más contaminadas y relacionarlos con problemas de salud de las vías respiratorias en niños y adultos mayores, así como en personas con problemas cardiacos.

Figura 32. Distribución espacial promedio del CO para 2000 – 2005.

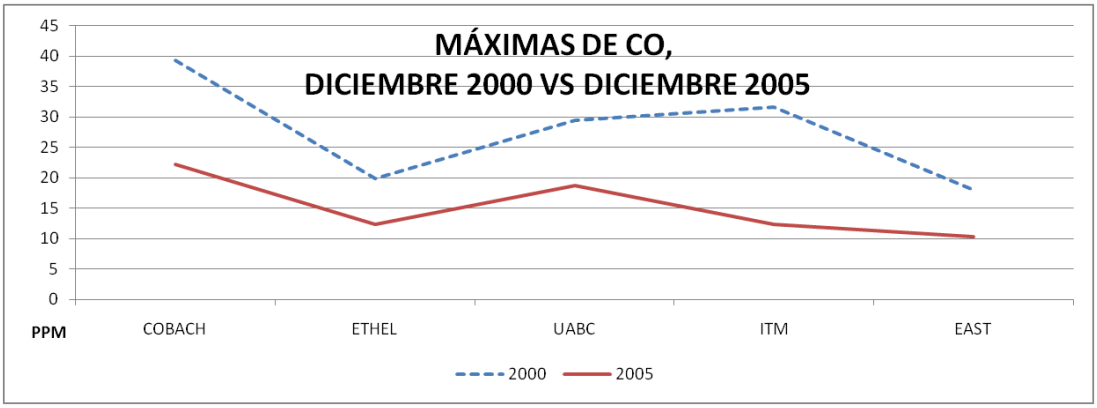
Figura 33 y 34. Distribución espacial del *CO* en Diciembre de 2000 y 2001.

Figura 35 y 36. Distribución espacial del *CO* en Diciembre de 2002 y 2003.

Figura 37 y 38. Distribución espacial del *CO* en Diciembre de 2004 y 2005.

Figura 39 y 40. Distribución espacial del *CO* en Julio de 2000 y 2005.

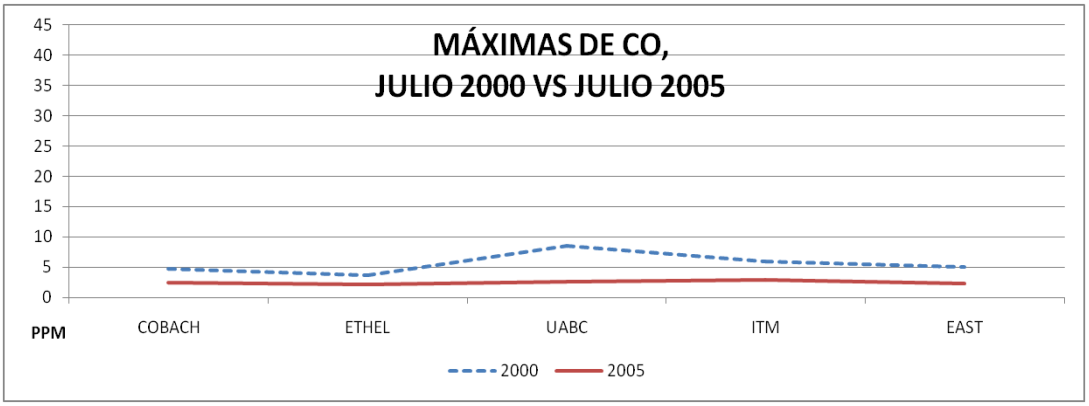
Con esta información donde se muestra el promedio de las máximas de CO se observó que los meses críticos son los de invierno, como en la mayoría de las ciudades con problemas de CO, se observa en las figuras 33-38, como las concentraciones siguen una distribución espacial en forma diagonal de noreste a suroeste, en cada año la distribución espacial sigue siendo la misma aunque se observa una disminución en las concentraciones; al analizar las figuras se aprecia como las concentraciones han disminuido de diciembre de 2000 a diciembre de 2005, aunque la distribución en diagonal sigue siendo la misma; las figuras 39 y 40 presenta la distribución espacial para los meses de julio de 2000 y julio de 2005, en esta se observa como las concentraciones de CO durante estos meses es mínima. A continuación se presenta la Gráfica 7, para los meses de diciembre de 2000 y 2005 para cada estación. En esta Gráfica se observa como las estaciones localizadas en Mexicali, siempre cuentan con las mayores concentraciones de CO, en cambio las de Calexico sus concentraciones son menores.



Gráfica 7. Máximas de CO por estación, diciembre de 2000 y 2005.

Una vez analizado el mes de diciembre se realizó el análisis del mes de julio que es donde se presentan las menores concentraciones de CO, como comparativo

se muestra la grafica 8, con las máximas concentraciones de CO por estación para julio de 2000 y de 2005. Aquí se puede observar que incluso en los meses de verano las concentraciones de CO han disminuido.



Gráfica 8. Máximas de CO por estación, julio de 2000 y 2005.

5.3 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DEL CO.

Se realizó el análisis de las estadísticas descriptivas de las máximas de CO de las 5 estaciones, para el periodo de 2000 a 2005, encontrándose en la Tabla 10, que la mayor varianza se encuentra en la estación del COBACH, la cual es la estación que presenta los mayores problemas de CO, con una máxima de 39.2 ppm y una mínima de 1.9 ppm, a su vez la estación con una varianza menor fue la de EAST, con una máxima de 18.0 ppm y una mínima de 0.1 ppm, que es donde las concentraciones son menores. Así mismo se observa que la desviación estándar es de la misma forma mayor en COBACH y menor en EAST, el rango de los datos refleja estos resultados. Estos últimos son congruentes con el comportamiento del CO en áreas donde la topografía, el clima y las emisiones se combinan, creando problemas con las concentraciones de CO de acuerdo al

National Research Council (2003), según explican se pueden crear inversiones atmosféricas durante el invierno.

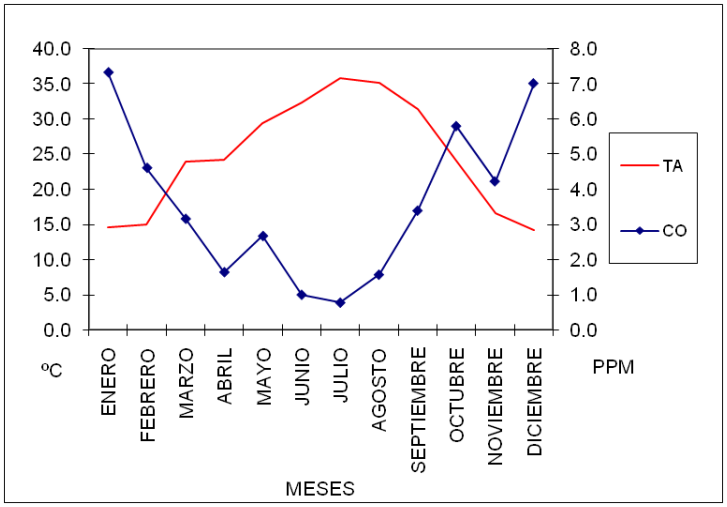
Tabla 10. Estadísticas descriptivas para las máximas de CO por estación.

Variable	Descriptive Statistics (MAXIMAS DE CO, 2000 - 2005)										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std.Dev.	Standard Error
COBACH	67	14.23731	12.40000	Multiple		1.900000	39.20000	37.30000	72.95177	8.541181	1.043471
ETHEL	71	7.54507	6.30000	2.000000	4	1.100000	19.90000	18.80000	25.33423	5.033312	0.597344
UABC	72	12.89028	11.30000	Multiple		2.200000	31.50000	29.30000	55.71807	7.464454	0.879694
ITM	68	10.53529	9.30000	Multiple		1.800000	31.60000	29.80000	37.94888	6.160267	0.747042
EAST	69	6.86522	6.70000	Multiple		0.100000	18.00000	17.90000	17.35201	4.165574	0.501476

5.4 ANÁLSIS ANUAL DEL CO PARA EL AÑO 2004.

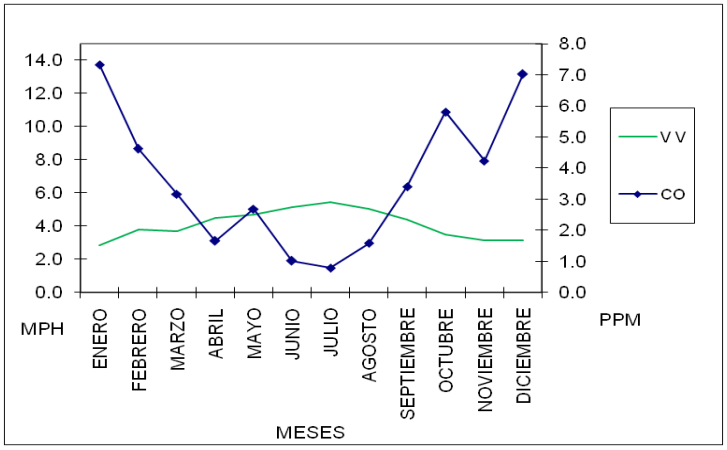
Después de analizado el periodo de 2000 a 2005, se eligió como referencia el año 2004 para hacer un estudio más detallado de las relaciones entre el CO y la temperatura del aire y la velocidad del viento.

En la Gráfica 9 se presentan los datos de la estación de la UABC para el año 2004, las concentraciones de CO promedio diarias y la temperatura del aire, encontrando una relación inversa, donde a menor temperatura del aire, se presentan las mayores concentraciones de CO.



Gráfica 9. Máximas de CO vs TA el año 2004 en la UABC.

En la Gráfica 10 se observa la relación del CO con respecto a la velocidad del viento en la estación UABC para el año 2004, encontrándose una relación inversa, pero no tan marcada como con la temperatura del aire.



Gráfica 10. Máximas de CO vs VV en el año 2004 en la UABC.

5.5 ANÁLISIS MENSUAL DEL CO PARA EL AÑO 2004.

En el año 2004 las máximas concentraciones del promedio diario de CO se presentaron en el mes de enero. Durante el análisis de este mes se observó una

distribución espacial de menor a mayor magnitud en sentido noreste-suroeste de la mancha urbana, con rangos de valor de entre 2.5 PPM a 9.5 PPM.

En la Figura 41 se muestra la distribución espacial del CO para el mes de enero de 2004, observándose una vez más la tendencia a que las mayores concentraciones de CO se den en la zona suroeste de la mancha urbana.

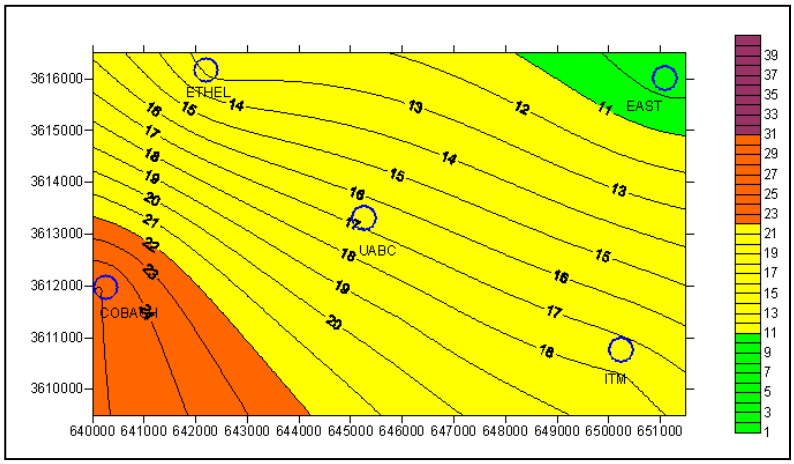
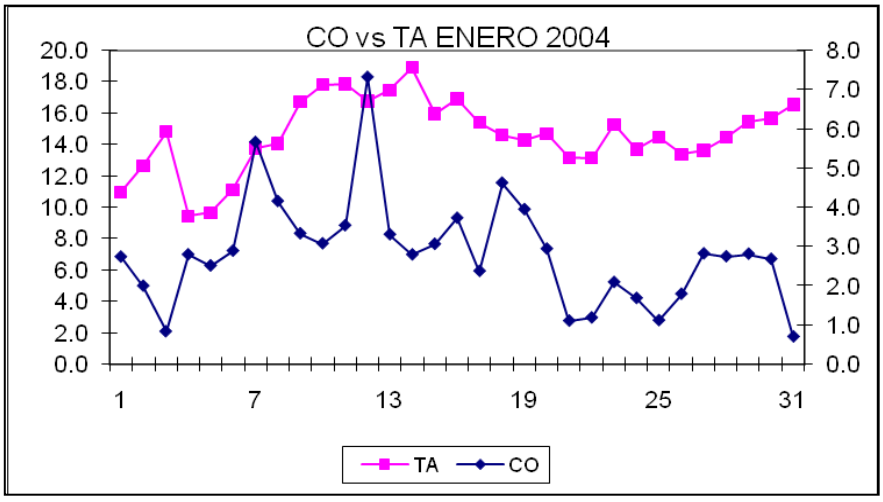


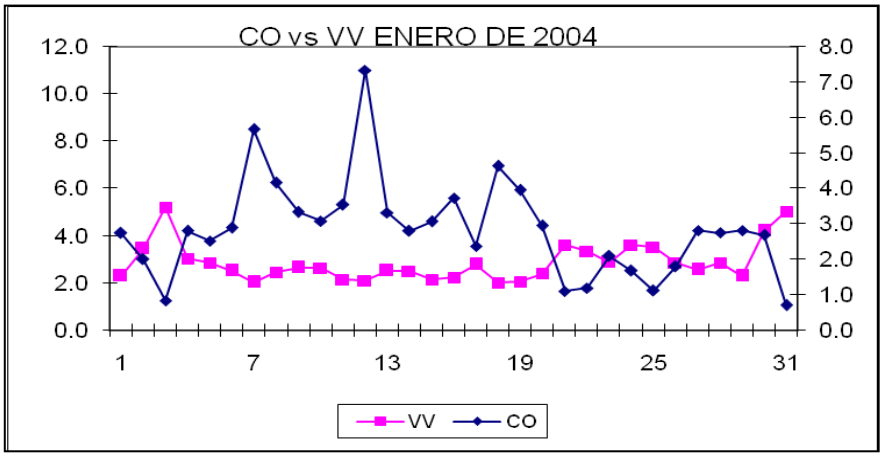
Figura 41. Distribución espacial del CO en el mes de enero de 2004.

Posteriormente se analizó la marcha del CO vs TA. Aquí se observó que la relación inversa presentada en la marcha anual se pierde totalmente, no correspondiendo la máxima TA con la mínima concentración de CO en todos los días del mes de enero de 2004. Aquí podemos observar además que los días con las máximas concentraciones pueden ser cualquier día de la semana no importando entonces al menos en esta escala mensual el patrón del tráfico cercano a las estaciones (Gráfica 11).



Gráfica 11. CO vs TA, enero de 2004 en UABC.

En la comparación entre el CO y la VV para el mes de Enero de 2004, se observa que la relación que existía entre la VV y el CO se ha perdido totalmente al igual que lo ocurrido con la TA. Salvo en algunos casos donde esto si continúa (Gráfica 12).



Gráfica 12. CO vs VV, enero de 2004 en UABC.

En la Figura 42 y 43 se presenta la rosa de vientos e histograma de velocidades para enero de 2004 en la estación de UABC, se puede observar que

la mayor frecuencia de vientos provienen del cuadrante Noroeste, aunque los vientos soplan de prácticamente todas las direcciones pero en menor intensidad. Durante este periodo el 90% del tiempo se registraron intensidades de entre 0.1 y 2.0 m/s.

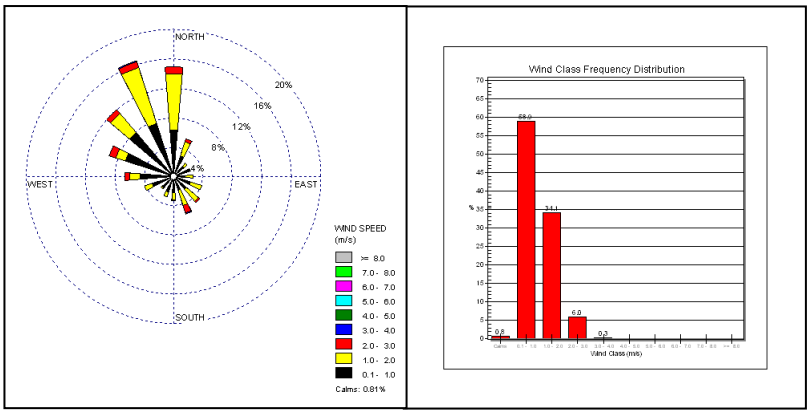


Figura 42 y 43. Rosa de vientos e histograma para Enero de 2004 en UABC.

En la Figura 44, se presenta la distribución espacial del CO para el mes de julio de 2004, se observa como las concentraciones son muy bajas y su distribución es prácticamente la misma en toda la ciudad.

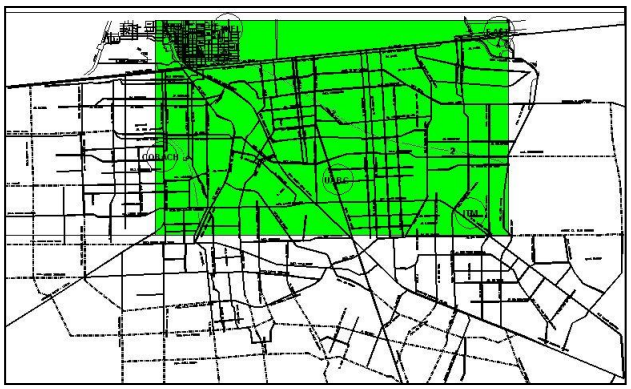
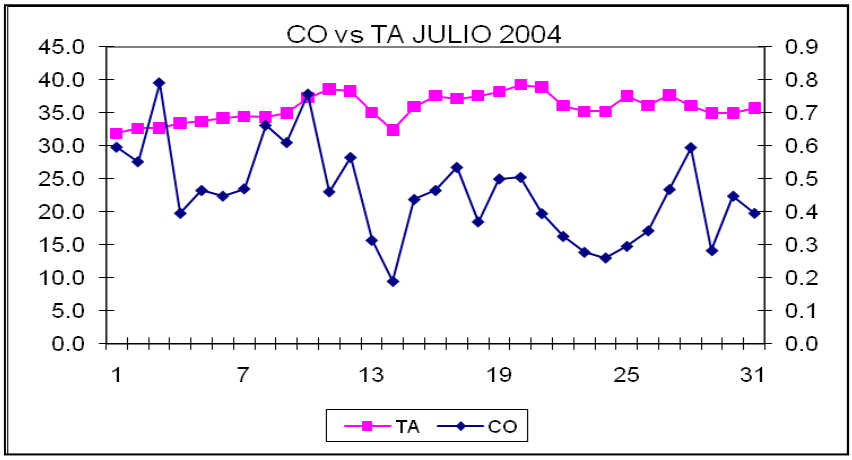


Figura 44. Distribución espacial del CO en Julio de 2004.

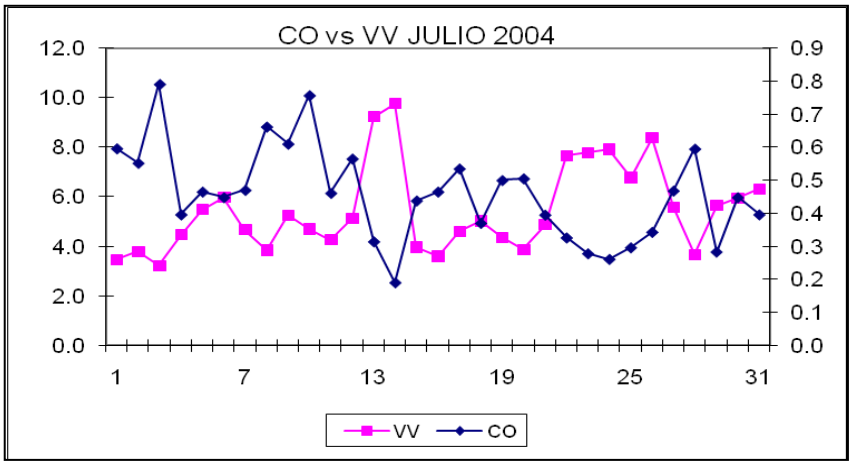
En la Gráfica 13 se observa que prácticamente no se encuentra relación entre las concentraciones de CO y la TA, durante el mes de julio de 2004,

repitiéndose entonces la pérdida de relación entre estas variables igual que en el mes de enero; se mantiene casi constante la concentración de CO.



Gráfica 13. CO vs TA en julio de 2004 en UABC.

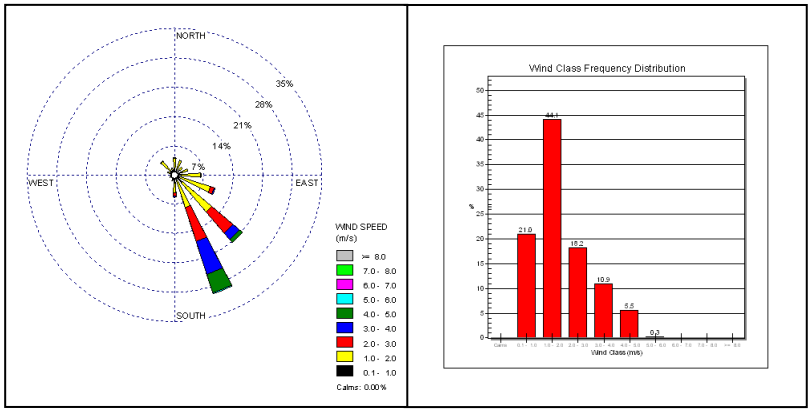
Para el mes de julio de 2004 en la estación de UABC, al comparar el CO vs VV se aprecia que al igual que en el caso del CO vs TA la relación que existía en la marcha anual, se pierde en la marcha mensual (Gráfica 14).



Gráfica 14. CO vs VV para julio de 2004 en UABC.

En las figuras 45 y 46 se presenta la rosa de vientos y el histograma para el mes de julio de 2004 en la estación de UABC, se observa que la mayor

frecuencia de dirección del viento fue del cuadrante sureste, es decir completamente inversos de los de enero, además se aprecia que los vientos con una intensidad entre 0.1 y 2.0 m/s tuvieron una frecuencia de 64%, y con 34.9% los de una intensidad entre 2.1 y 6.0 m/s.



Figuras 45 y 46. Rosa de vientos e histograma de la intensidad de vientos en la estación UABC para Julio de 2004.

En la Tabla 11, se presentan los resultados de las estadísticas descriptivas para el mes de enero de 2004, observando como los valores de la varianza para el CO son muy pequeños en UABC y en ITM, pero en COBACH es mayor, esto se aprecia también con los valores mínimos y máximos, obteniendo un mayor rango; se aprecia también que el valor mínimo para CO es de 0.66 ppm en ITM, en UABC es de 0.70 ppm y en COBACH es de 0.74 ppm, por otro lado las máximas fueron de 5.55 ppm en ITM, 7.32 ppm en UABC y de 12.12 ppm en COBACH; en cuanto a las temperatura mínimas se registró en COBACH 8.0°C, 9.4°C en UABC y 11.3°C en ITM, coincidiendo la mínima temperatura con la máxima concentración de CO; finalmente la velocidad del viento registró una mínima de 1.41 mph en COBACH, 1.70 mph en ITM y 2.01 mph en UABC, una vez mas la mínima cantidad de aire se encontró en la estación con mayor concentración de

CO, considerando estas dos variables (TA y VV) precursores de episodios de contaminación.

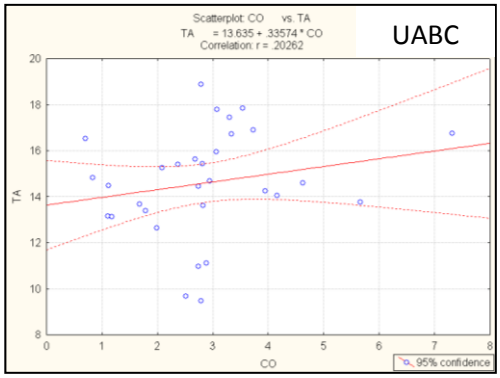
Tabla 11. Estadísticas descriptivas para enero de 2004 en UABC, ITM y COBACH.

Variable	Descriptive Statistics ENERO 2004 UABC										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	2.8516	2.7960	2.7960	2	0.7000	7.3270	6.6270	1.9181	1.3850	0.2487
TA	31	14.5923	14.6000	Multiple		9.4667	18.8667	9.4000	5.2667	2.2949	0.4122
VV	31	2.8592	2.6333	Multiple		2.0167	5.1909	3.1742	0.6555	0.8096	0.1454

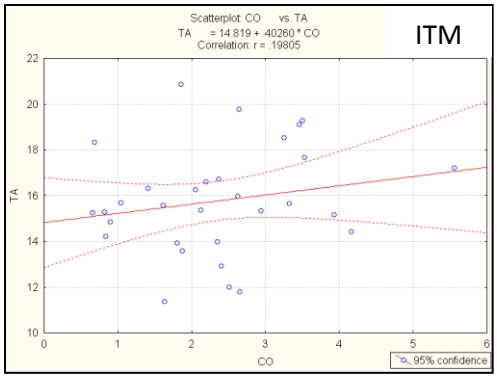
Variable	Descriptive Statistics ITM ENERO 2004										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	2.3499	2.3565	Multiple		0.6652	5.5591	4.8939	1.3108	1.1449	0.2056
TA	31	15.7650	15.5667	Multiple		11.3625	20.8625	9.5000	5.4167	2.3274	0.4180
VV	31	3.2345	3.0958	Multiple		1.7042	7.8417	6.1375	1.8689	1.3671	0.2455

Variable	Descriptive Statistics COBACH ENERO 2004										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	4.1487	3.9217	Multiple		0.7476	12.1238	11.3762	6.5517	2.5596	0.4597
TA	31	13.5999	13.8458	Multiple		8.0958	17.3042	9.2083	5.1567	2.2708	0.4079
VV	31	2.4259	1.9542	1.5292	2	1.4182	7.2500	5.8318	1.6601	1.2884	0.2314

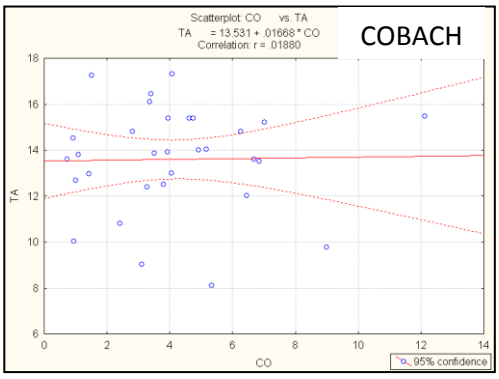
En las Gráficas 15, 16 y 17 se presentan diagramas de dispersión entre TA y el CO; se observa que la relación entre ambas variables dista mucho de ser lineal, ya que los coeficientes de correlación son bajos y no significativos, por lo que un modelo lineal del CO en función de la TA no es adecuado.



Gráfica 15. CO vs. TA, UABC.

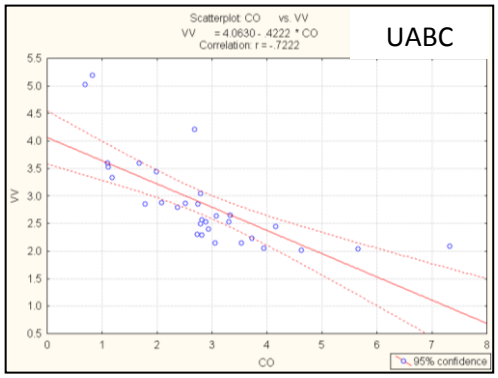


Gráfica 16. CO vs TA, ITM.

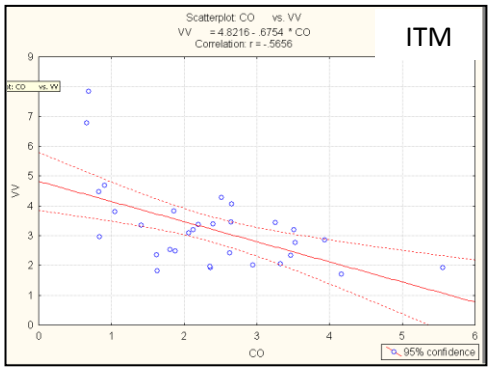


Gráfica 17. CO vs TA, COBACH.

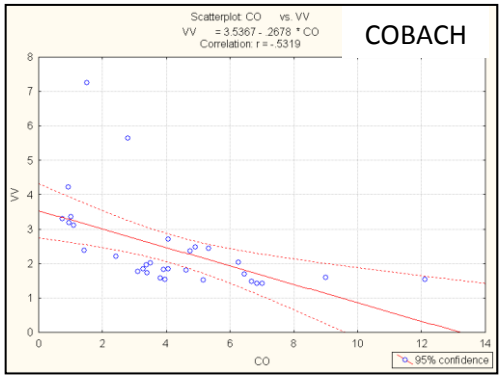
En las Gráficas 18, 19 y 20 se observa como el CO en la escala mensual tiene una mejor relación lineal con la VV; los coeficientes de correlación mejoran sensiblemente en cada estación de monitoreo, comparados con los encontrados en la relación CO y TA.



Gráfica 18. CO vs. VV, UABC.



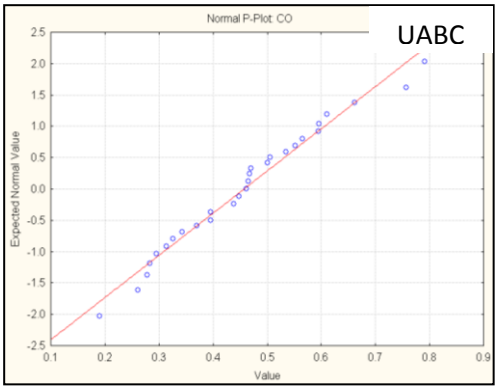
Gráfica 19. CO vs VV, ITM.



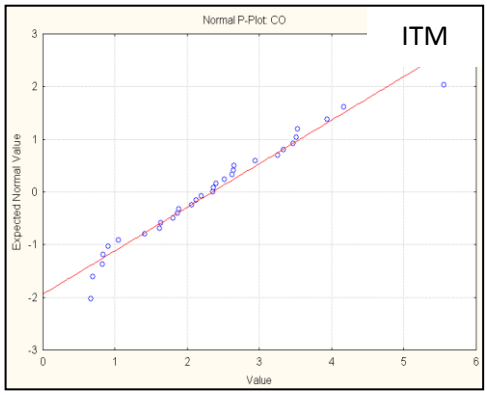
Gráfica 20. CO vs VV, COBACH.

DISTRIBUCIONES NORMALES.

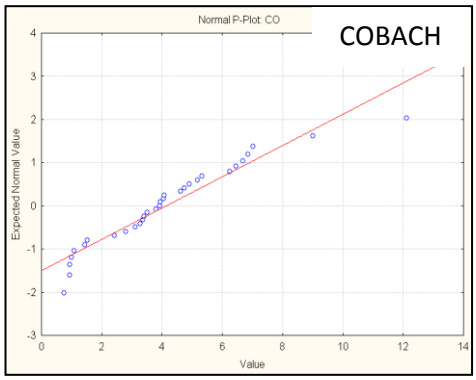
En las Gráficas 21, 22 y 23 se presentan las distribuciones normales para el CO, en las estaciones UABC, ITM y COBACH para enero de 2004, en la estación UABC e ITM se ve en general una buena distribución, los datos están uniformemente distribuidos a lo largo de la Gráfica y sólo en los extremos aparecen algunos datos aislados, en COBACH los datos siguen esta tendencia pero existen unos valores en la parte alta de la Gráfica que se salen de la normalidad.



Gráfica 21. Distribución Normal de CO en UABC, enero 2004.

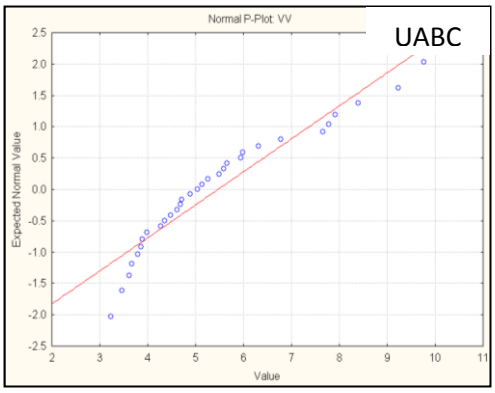


Gráfica 22. Distribución Normal de CO en ITM, enero 2004.

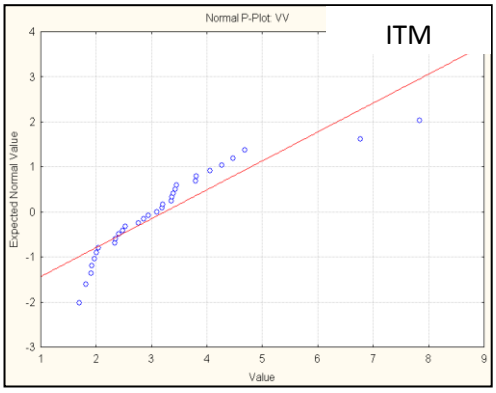


Gráfica 23. Distribución Normal de CO en COBACH, enero 2004

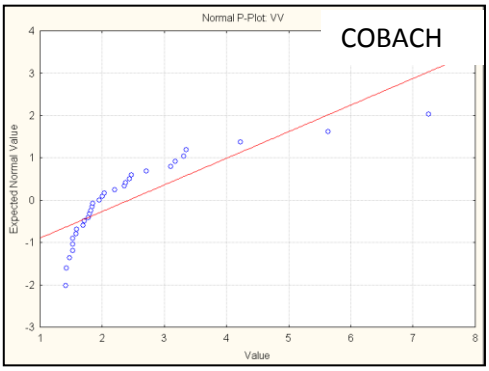
En las Gráficas 24, 25 y 26 se presentan las distribuciones normales para la VV, en las estaciones UABC, ITM y COBACH para enero de 2004, se ve en general una buena distribución, sobre todo para UABC; en ITM y COBACH se aprecia como los valores extremos tanto mínimos como máximos se salen de la normalidad.



Gráfica 24. Distribución Normal de VV en UABC, enero 2004.

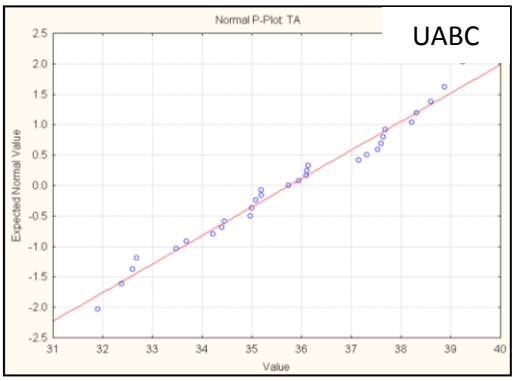


Gráfica 25. Distribución Normal de VV en ITM, enero 2004.

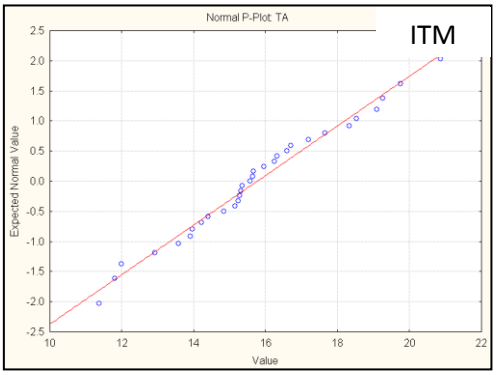


Gráfica 26. Distribución Normal de VV en COBACH, enero 2004.

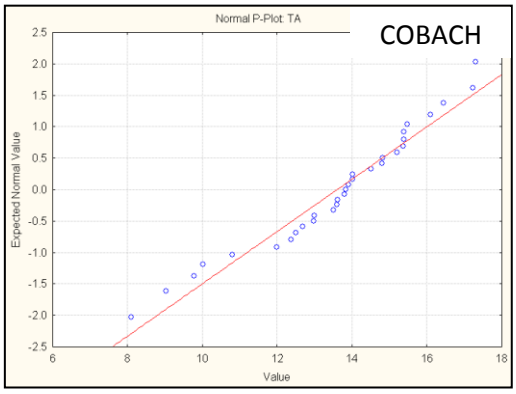
En las Gráficas 27, 28 y 29 se presentan las distribuciones normales para la TA, en las estaciones UABC, ITM y COBACH para enero de 2004, se ve en general una buena distribución, los valores se agrupan a lo largo de la normal, arriba y debajo de esta y no existen valores que aparezcan fuera de rango.



Gráfica 27. Distribución Normal de TA en UABC, enero 2004.



Gráfica 28. Distribución Normal de TA en ITM, enero 2004.



Gráfica 29. Distribución Normal de TA en COBACH, enero 2004.

En la Tabla 12, se presentan los resultados de las estadísticas descriptivas para el mes de julio de 2004, observando cómo los valores de la varianza para el CO son muy pequeños en las tres estaciones, por lo que se corrobora la baja concentración de CO durante esta época con los valores mínimos y máximos que van de 0.16 ppm en COBACH a 0.60 ppm en UABC, las máxima van de 0.50 ppm en ITM a 0.80 ppm en COBACH; en cuanto a las temperaturas mínimas se registró en COBACH 30.30°C, 31.9°C en UABC y 33.4°C en ITM, estas temperaturas nos hablan de la dispersión de los contaminantes durante esta época del año, es decir, debido a que durante el verano las temperaturas son mas altas que en el invierno, durante el invierno los contaminantes quedan atrapados en una capa muy baja, ya que durante algunos días el aire caliente de la superficie no alcanza a dispersarse cuando otra capa de aire frio llega al siguiente día y en el verano al no existir esta capa a tan baja altura los contaminantes se pueden dispersar de una manera más rápida. Finalmente la velocidad del viento registro una mínima de 3.0 mph en COBACH, y una máxima de 9.7 mph en UABC. Por lo que no se considera un estudio más profundo de

este mes. Con los valores encontrados de VV y TA se puede inferir que las concentraciones de CO son bajas, tal como aparecen en la Tabla 12.

Tabla 12. Estadísticas descriptivas para julio de 2004.

Variable	Descriptive Statistics JULIO 2004 UABC DATA)										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	0.4574	0.4610	Multiple		0.1900	0.7910	0.6010	0.0202	0.1420	0.0255
TA	31	35.7575	35.7375	Multiple		31.9042	39.2500	7.3458	4.1682	2.0416	0.3667
VV	31	5.4683	5.0375	Multiple		3.2375	9.7625	6.5250	3.0765	1.7540	0.3150

Variable	Descriptive Statistics ITM JULIO 2004 DESC STAT DATA)										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	0.3613	0.3500	0.2833	7	0.2778	0.5087	0.2309	0.0063	0.0795	0.0143
TA	31	33.8839	33.9125	Multiple		33.4208	34.3208	0.9000	0.1026	0.3204	0.0575
VV	31	3.9895	3.8750	Multiple		3.7333	4.3167	0.5833	0.0510	0.2257	0.0405

Variable	Descriptive Statistics COBACH JULIO 2004 DESC STAT DATA)										
	Valid N	Mean	Median	Mode	Freq. Of Mode	Minimum	Maximum	Range	Variance	Std. Dev.	Std. Error
CO	31	0.7331	0.7478	Multiple		0.6333	0.8000	0.1667	0.0028	0.0533	0.0096
TA	31	30.7050	30.6792	Multiple		30.3500	31.1000	0.7500	0.0566	0.2380	0.0427
VV	31	3.1320	3.1375	Multiple		3.0042	3.2458	0.2417	0.0066	0.0812	0.0146

5.5.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE.

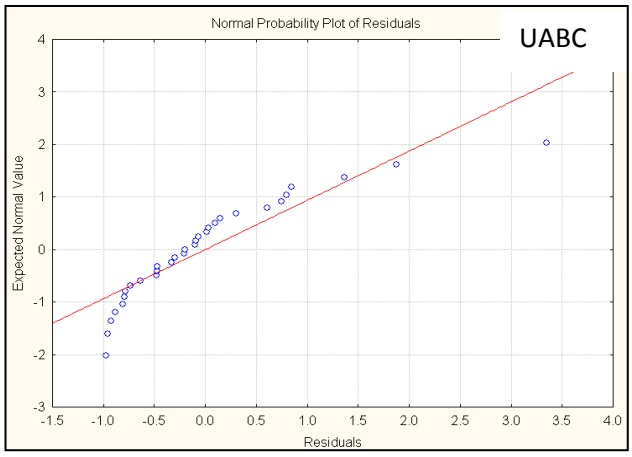
En la tabla 13, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV y TA de enero de 2004 en UABC, el coeficiente de determinación ajustada (R^2 ajustada) es de 0.51, es decir que un 51% de la variabilidad del CO es explicada por la TA y la VV; el coeficiente B para TA indica que se requiere de una unidad para incrementar el CO en 0.08 unidades y en el caso de la VV por cada unidad que se incremente, el CO disminuirá -1.21 unidades, en esta ecuación solo el intercepto y la VV son significativos, la ecuación tiene un grado de significancia pequeño (p) (<0.00002), indicando la linealidad de este modelo. La ecuación resultante sería la siguiente:

$$CO = 5.04 + TA(0.09) + VV(-1.22)$$

Tabla 13. Regresión múltiple para enero de 2004 en UABC.

N=31	Regression Summary for Dependent Variable: CO (Spreadsheet8 in ENERO 2004 UABC DATA) R= .73662032 R²= .54260950 Adjusted R²= .50993875 F(2,28)=16.608 p<.00002 Std.Error of estimate: .96953					
	Beta	Std. Err. Of Beta	B	Std. Err. Of B	t(28)	p-level
Intercept			5.0442	1.3462	3.7470	0.0008
TA	0.1456	0.1282	0.0879	0.0774	1.1357	0.2657
VV	-0.7105	0.1282	-1.2154	0.2193	-5.5411	0.0000

La tendencia de los valores esperados VS los residuales no es muy buena. Estos se muestran en la Gráfica 30, no siguen la línea de la normal, y se distribuyen más hacia los valores mínimos, siendo esto un resultado no deseado en este tipo de análisis, por lo que se considera una aproximación poco aceptable de la ecuación obtenida con estos datos. Los resultados completos de este análisis de residuales se presentan en el Anexo 1.



Gráfica 30. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, enero 2004 UABC.

En la Tabla 14, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV y TA de enero de 2004 en ITM, el coeficiente de determinación ajustada (R^2 ajustada) es de 0.35, por lo que el

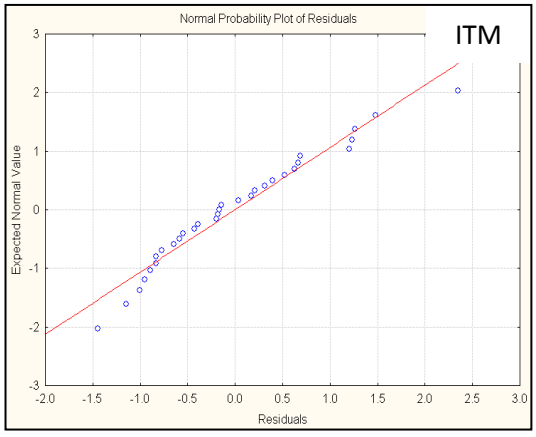
35% de la variabilidad del CO se explica por la VV, se observa que por cada incremento unitario de VV el CO disminuirá 0.50 unidades, el grado de significancia es pequeño (p) (<0.00086), indicando cierta linealidad de este modelo. La ecuación resultante sería la siguiente:

$$CO = 1.82 + TA(0.13) + VV(-0.50)$$

Tabla 14. Regresión múltiple para enero de 2004 en ITM.

N=31	Regression Summary for Dependent Variable: CO (ITM ENERO 2004 in ITM ENERO 2004 DESC STAT DATA) R= .62912310 R²= .39579588 Adjusted R²= .35263844 F(2,28)=9.1710 p<.00086 Std.Error of estimate: .92116					
	Beta	STd. Error of Beta	B	Std. Error of B	t(28)	p-level
Intercept			1.8268	1.1778	1.5510	0.1321
TA	0.2779	0.1482	0.1367	0.0729	1.8750	0.0713
VV	-0.6025	0.1482	-0.5045	0.1241	-4.0650	0.0004

La tendencia de los valores esperados VS los residuales, se muestran en la Gráfica 31, siguen la línea de la normal, distribuyéndose uniformemente solo algunos valores en los extremos se salen de la línea, considerando esto una aproximación aceptable del modelo.



Gráfica 31. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, enero 2004 ITM.

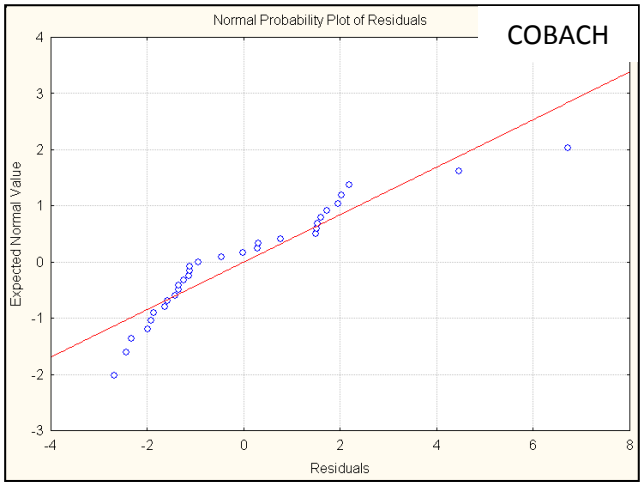
En la Tabla 15, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV y TA de enero de 2004 en COBACH, aquí se observa que la TA representa un valor bajo para esta ecuación, en cambio la velocidad del viento si representa un valor mayor, el coeficiente de determinación ajustada (R^2 ajustada) es de 0.24 por lo que el 24% de variabilidad del CO es explicado al igual que en ITM por la VV, correspondiendo una disminución de 1.1 unidades por cada amento unitario de la VV, y un grado de significancia pequeño (p) (<0.00712), indicando cierta linealidad de este modelo. La ecuación resultante sería la siguiente:

$$CO = 4.93 + TA(0.13) + VV(-1.10)$$

Tabla 15. Regresión múltiple para enero de 2004 en COBACH.

N=31	Regression Summary for Dependent Variable: CO (COBACH ENERO 2004 AVE in COBACH ENERO 2004 AVE DESC STAT DATA) R= .54549681 R^2= .29756677 Adjusted R^2= .24739297 F(2,28)=5.9307 p<.00712 Std.Error of estimate: 2.2206					
	Beta	STd. Error of Beta	B	Std. Error of B	t(28)	p-level
Intercept			4.9374	2.4804	1.9906	0.0564
TA	0.1230	0.1613	0.1387	0.1818	0.7630	0.4518
VV	-0.5550	0.1613	-1.1027	0.3204	-3.4420	0.0018

La tendencia de los valores esperados VS los residuales, se muestran en la Gráfica 32, siguen la línea de la normal, distribuyéndose más hacia la parte baja de la Gráfica, existiendo algunos valores en el extremo superior, respondiendo de una manera muy pobre al modelo.



Gráfica 32. Distribución de los valores normales esperados VS residuales, enero 2004 COBACH.

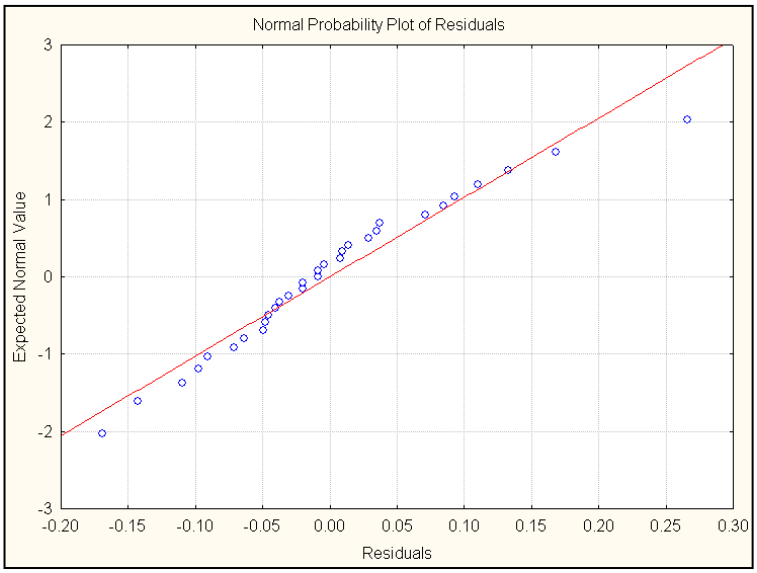
A continuación se presentan los resultados de la regresión aplicados a los datos del mes de julio de 2004 de la UABC, en la Tabla 16, solo se analizaron los datos para la estación UABC, debido a que se conoce que no representa mayor problema este mes; el valor para TA al igual que en enero, es muy pequeño, incluso el valor para VV es pequeño, aunque pesa un poco más en la ecuación resultante, la R^2 ajustada tiene un valor de 0.6, es decir que la variación del CO es explicada en un 60% por el intercepto y VV, correspondiendo una disminución de 0.06 por cada aumento unitario de VV y un aumento de 1.11 por cada incremento unitario del intercepto, el nivel de significancia p = 0.00001, indica la linealidad del modelo. La ecuación resultante es la siguiente:

$$CO = 1.11 + VV(-0.06) + TA(-0.01)$$

Tabla 16. Regresión múltiple para julio de 2004 en UABC.

N=31	Regression Summary for Dependent Variable: CO (Spreadsheet13 in JULIO 2004 UABC DATA) R= .76223547 R²= .58100292 Adjusted R²= .55107455 F(2,28)=19.413 p<.00001 Std.Error of estimate: .09512					
	Beta	Std. Err. Of Beta	B	Std. Err. Of B	t(28)	p-level
Intercept			1.113154	0.318110	3.49927	0.001579
VV	-0.767081	0.123232	-0.062087	0.009974	-6.22470	0.000001
TA	-0.127194	0.123232	-0.008845	0.008569	-1.03215	0.310836

La tendencia de los valores esperados VS los residuales es relativamente buena, y se puede hablar de una linealidad del modelo, los resultados se muestran en la Gráfica 33, se observa que siguen la línea de la normal, y solo en los extremos se separan de esta, por lo que se considera una aproximación aceptable de la ecuación obtenida con estos datos. Los resultados completos de este análisis de residuales se presentan en el anexo 2.



Gráfica 33. Distribución de los valores normales esperados VS residuales.

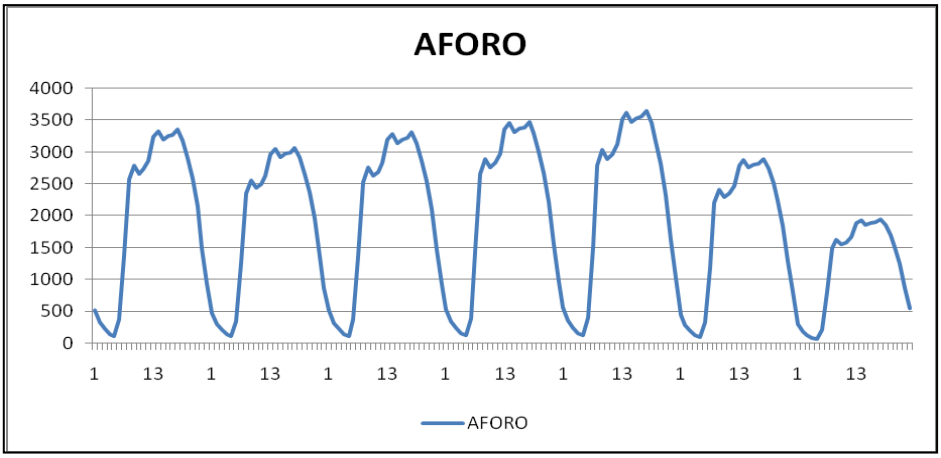
5.6 OTRAS VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CO.

Además de las variables meteorológicas, es necesario considerar la inclusión de las variables antropogénicas, en este caso el tráfico vehicular que circula por la ciudad.

5.6.1 AFOROS VEHICULARES.

El aforo en la estación de la UABC se realizó por el bulevar Benito Juárez, fue realizado durante los días jueves 13, viernes 14 y domingo 16 de diciembre de 2007, en episodios de 15 minutos, por la mañana de 9:00 a 9:15, al mediodía de 12:30 a 12:45 y por la tarde de 19:15 a 19:30, con contadores manuales y en ambos sentidos al mismo tiempo, se consideraron vehículos ligeros de gasolina (LDV), Motocicletas (MC), Camiones Pesados de Diesel (HDDT), Camiones ligeros de Gasolina (LDGT) y Camiones Ligeros de Diesel (LDDT). Con los datos de este aforo (ver Anexo 3) se utilizaron los porcentajes proporcionados por el Grupo de Planeación Urbana y Regional del Instituto de Ingeniería, generando la Gráfica 34, donde de acuerdo a los datos del Atlas de tránsito vehicular de la ciudad de Mexicali, en los días normales, es decir no festivos o con efectos alternos como lluvias, el tráfico vehicular en el Bulevar Benito Juárez se presentaría de esta manera; se observa como los viernes se incrementa el tráfico alcanzando más de 3500 vehículos por hora a las 15:00, y como los domingos disminuye considerablemente hasta llegar a pasar 69 vehículos por hora a las 4:00. Por esta vialidad transitan un promedio de 45,000 vehículos diariamente, más del 95% de los vehículos que transitan por esta vialidad son vehículos ligeros de gasolina. Aproximadamente un 2% de los vehículos que

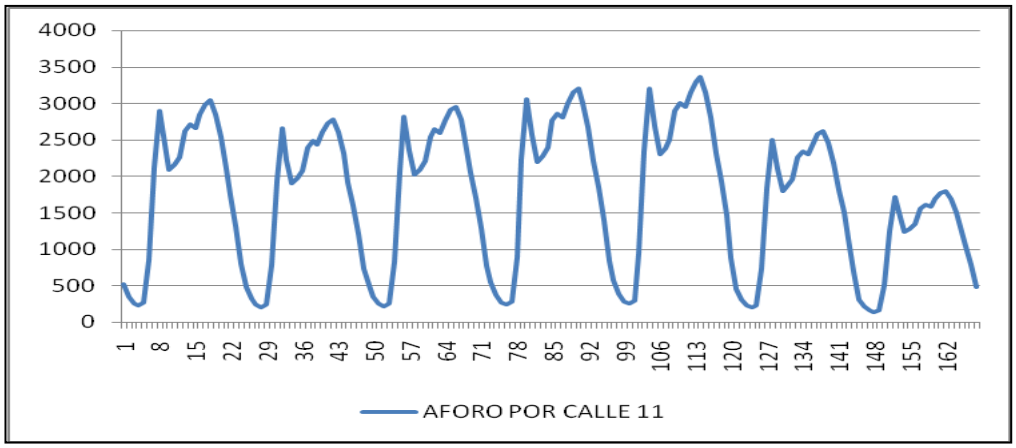
circulan por esta vialidad son de carga. Se debe considerar que es una vialidad importante para la ciudad por lo que el sistema de transporte la utiliza.



Gráfica 34. Aforo por el bulevar Benito Juárez, frente a la UABC.

El aforo en la estación de la estación COBACH se realizó por la Calzada Heroico Colegio Militar, fue realizado durante los días jueves 13, viernes 14 y domingo 16 de diciembre de 2007, en episodios de 15 minutos, por la mañana de 8:15 a 8:30, al mediodía de 13:15 a 13:30 y por la tarde de 18:00 a 18:15, con contadores manuales y en ambos sentidos al mismo tiempo. En base a este aforo se generó la Gráfica 35 donde de acuerdo a los datos del Atlas de tránsito vehicular de la ciudad de Mexicali, en los días normales, es decir no festivos o con efectos alternos como lluvias, el tráfico vehicular en la Calzada Heroico Colegio Militar se presentaría de esta manera; se observa como los viernes se incrementa el tráfico, hasta llegar a circular mas de 3,300 vehículos aproximadamente a las 17:00 y como los domingos disminuye considerablemente hasta solo pasar 130 carros en promedio a la 1:00. Por esta vialidad circulan un promedio de 41,000 vehículos por día, al igual que en el caso

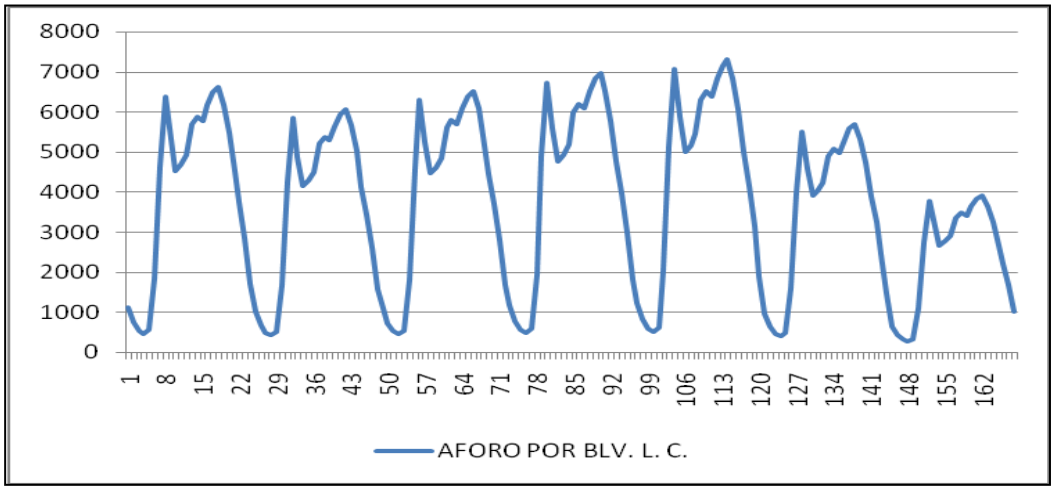
del Bulevar Benito Juárez, más del 95% de los vehículos que por aquí circulan son ligeros de gasolina. Esta vialidad es de vital importancia para la ciudad porque ayuda al movimiento del tráfico de la zona poniente de la ciudad, por esta el transporte de carga puede entrar o salir del centro de la ciudad, así como el sistema de transporte y los vehículos particulares.



Gráfica 35. Aforo por la Calle 11, frente al COBACH.

El aforo en la estación de la estación ITM se realizó por el Bulevar Lázaro Cárdenas, fue realizado durante los días jueves 13, viernes 14 y domingo 16 de diciembre de 2007, en episodios de 15 minutos, por la mañana de 9:30 a 9:45, al mediodía de 12:15 a 12:30 y por la tarde de 18:45 a 19:00, con contadores manuales y en ambos sentidos al mismo tiempo. En base a este aforo se generó la grafica 36 donde de acuerdo a los datos del Atlas de tránsito vehicular de la ciudad de Mexicali, en los días normales, es decir no festivos o con efectos alternos como lluvias, el tráfico vehicular en el Bulevar Lázaro Cárdenas se presentaría de esta manera; se observa como los viernes se incrementa el tráfico hasta circular más de 7,300 vehículos alrededor de las 17:00 y como los domingos disminuye considerablemente hasta circular 280 vehículos a las

3:00. Esta vialidad es la que más carga vehicular presenta, contabilizando un promedio de 90,000 vehículos por día. Un promedio de 94% de los vehículos que por aquí transitan, son considerados vehículos ligeros de gasolina. Siendo la arteria principal de la ciudad en sentido oriente poniente y viceversa, un gran número de vehículos de carga, transporte público, y particulares utilizan esta vía durante toda la semana.



Gráfica 36. Aforo por Blv. Lázaro Cárdenas, frente al acceso al ITM.

5.6.2 ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

Para el cálculo de la estabilidad atmosférica se utiliza el método de desviación estándar de la dirección horizontal del viento, en este caso se utilizan los datos para el episodio que se analiza en diciembre de 2004, en la estación UABC, los resultados de esta estimación se presentan en la Tabla 17, en general, se observó que durante los periodos de cambio entre el día y la noche es donde existen diferencias considerables entre las categorías de estabilidad, lo cual se debe al intercambio calórico que en estos períodos cambia de

dirección muy rápidamente en la porción entre la superficie terrestre y la parte más baja de la atmósfera.

Este cálculo ayuda a comprender los episodios de contaminación, ya que al existir estabilidad atmosférica, el CO queda atrapado en la capa superficial de la atmósfera y al no poder dispersarse se producen los episodios de contaminación que pueden durar varias horas hasta se rompe dicha estabilidad lo cual parece suceder en las primeras horas de la mañana.

En la Tabla 17 se presentan los resultados de la estabilidad atmosférica calculada para la estación UABC, aquí se observa como durante el día la estabilidad es extremadamente inestable incluso neutral en algunas ocasiones y como durante la noche se vuelve extremadamente estable, esto contribuye a generar los episodios de contaminación durante la noche y las primeras horas de la mañana.

Tabla 17. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 y 12 de diciembre de 2004 en la estación UABC.

HORA	σ A	CLASIFICACION DE ESTABILIDAD	VV M/S	AJUSTE POR VELOCIDAD
10	37.3	A	1.1	A
11	38.0	A	1.2	A
12	35.3	A	1.3	A
13	29.9	A	1.8	A
14	27.8	A	1.6	A
15	27.0	F	1.3	D
16	15.6	F	0.8	D
17	5.6	F	0.7	D
18	14.3	F	0.6	D
19	6.9	F	0.6	F
20	15.1	F	0.7	F
21	11.9	F	0.7	F
22	8.9	F	0.6	F
23	11.0	F	0.6	F
0	10.2	F	0.5	F
1	21.3	F	0.3	F
2	13.3	F	0.4	F
3	23.8	A	0.4	F
4	10.3	F	0.3	F
5	6.1	F	0.3	F
6	4.0	F	0.3	F
7	11.5	F	0.6	F
8	29.6	A	0.7	F
9	46.8	A	0.8	A

En la Tabla 18, se aprecia una atmosfera inestable durante el día, pero al igual que en UABC durante la noche la atmosfera se vuelve muy estable, ocasionando los altos niveles de CO detectados en este episodio.

Tabla 18. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 y 12 de diciembre de 2004 en la estación ITM.

HORA	σ A	CLASIFICACION DE ESTABILIDAD	VV M/S	AJUSTE POR VELOCIDAD
10	27.0	A	1.7	A
11	22.1	B	2.5	B
12	19.9	B	2.6	B
13	17.8	B	2.9	B
14	20.4	B	2.5	B
15	15.8	C	2.1	C
16	8.7	D	1.2	D
17	6.6	E	1.1	D
18	10.7	D	1.1	D
19	21.2	B	0.9	F
20	25.4	A	1.1	F
21	15.3	C	0.9	E
22	13.1	C	0.9	E
23	7.0	E	1.3	E
0	17.1	C	0.7	E
1	26.5	A	0.7	F
2	17.4	C	1.2	E
3	2.3	E	0.7	E
4	0.4	E	0.3	E
5	0.5	E	0.5	E
6	32.3	A	0.8	F
7	44.1	A	0.9	F
8	12.1	D	0.8	D
9	58.3	A	0.6	A

En la Tabla 19 se aprecia la estabilidad atmosférica para la estación de COBACH, al igual que en UABC e ITM durante el día es muy inestable incluso neutral y durante la noche la atmosfera se vuelve muy estable.

Tabla 19. Estimación de la estabilidad para el episodio del 11 y 12 de diciembre de 2004 en la estación COBACH.

HORA	σ A	CLASIFICACION DE ESTABILIDAD	VV M/S	AJUSTE POR VELOCIDAD
10	36.9	A	0.8	A
11	35	A	1.0	A
12	30.6	A	1.2	A
13	32.8	A	1.3	A
14	33.4	A	1.0	A
15	24.8	A	0.6	A
16	15.2	C	0.2	C
17	8.7	D	0.2	D
18	9.6	D	0.1	D
19	14.4	C	0.1	E
20	20.2	B	0.2	F
21	45.6	A	0.0	F
22	13.4	C	0.2	E
23	36.5	A	0.1	F
0	27.8	A	0.0	F
1	14.5	C	0.1	E
2	20.2	B	0.0	F
3	31.1	A	0.0	F
4	10.2	D	0.1	D
5	11.6	D	0.0	D
6	11.4	D	0.1	D
7	26.5	A	0.4	F
8	46	A	0.2	F
9	38.9	A	0.3	A

5.7 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE DE UN EPISODIO DE CO.

Una vez que se ha identificado que el problema mayor de CO es durante los meses de invierno, se eligió el mes de diciembre para analizarlo más detalladamente, se consideraran los episodios de este mes para proponer un modelo de regresión más adecuado para estos episodios, pero en una escala diaria. Ahora se incorporaran los datos del aforo realizado, aunque no son de la misma fecha los datos se estima que el tráfico vehicular en la zona no se ha

modificado significativamente y los de estabilidad atmosférica para el episodio analizado.

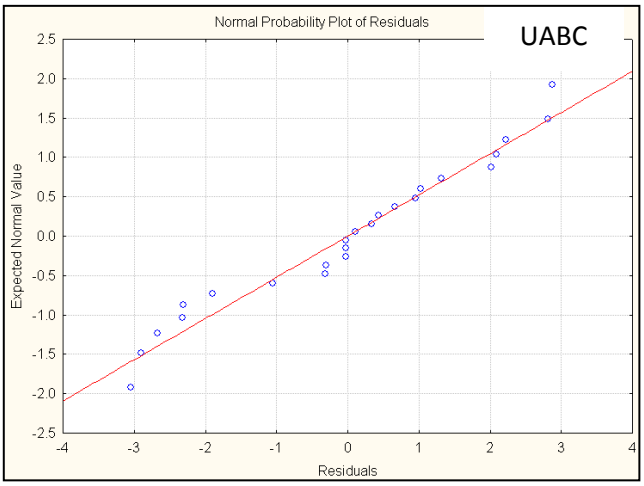
En la Tabla 20, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV, AFORO, ESTABILIDAD y TA para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en UABC, se utilizaron las concentraciones de CO, VV y TA a partir de las 10:00, se realizó un ajuste de dos horas al Aforo y a la estabilidad atmosférica, es decir se consideran desde las 08:00, se incluyeron los datos que formaban al episodio que pasaba la norma de EU de 9 ppm en 8 horas, obteniendo resultados que reflejan una linealidad de la ecuación, el valor de R^2 ajustada fue de 0.88, es decir que este modelo explica un 88% de la variabilidad del CO con un nivel de significancia p = 0.0000, las variables VV y TA son significativas en esta ecuación se observa que el aforo es la única variable que no aporta un valor a la ecuación. Los errores estándar indican que los coeficientes B son significativos para VV y TA, esto con un nivel de confianza del 95%. La ecuación resultante es la siguiente:

$$CO = 15.77 + VV(2.99) + TA(-0.95) + AFORO(0.00) + EST(0.77)$$

Tabla 20. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en UABC.

N=24	Regression Summary for Dependent Variable: CO (Spreadsheet32 in UABC DICIEMBRE 246_247 DATA) R= .94942915 R²= .90141572 Adjusted R²= .88066113 F(4,19)=43.432 p<.00000 Std.Error of estimate: 1.9799					
	Beta	STd. Error of Beta	B	Std. Error of B	t(28)	p-level
Intercept			15.7787	3.7827	4.1713	0.0005
VV	0.4760	0.1845	2.9958	1.1611	2.5802	0.0183
TA	-1.2003	0.2429	-0.9540	0.1931	-4.9414	0.0001
AFORO	0.1235	0.0889	0.0006	0.0005	1.3896	0.1807
EST.ATM.	0.2514	0.1521	0.7734	0.4680	1.6527	0.1148

La tendencia de los valores esperados VS los residuales es buena, se muestran en la Gráfica 37 ya que siguen la línea de la normal, por lo que se considera una buena aproximación de la ecuación obtenida con estos datos.



Gráfica 37. Distribución de los valores normales esperados VS residuales.

En la Tabla 21, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV, AFORO, ESTABILIDAD y TA para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en ITM, el procedimiento aplicado fue igual que para UABC. El valor de R^2 ajustada fue de 0.86, esto significa que un

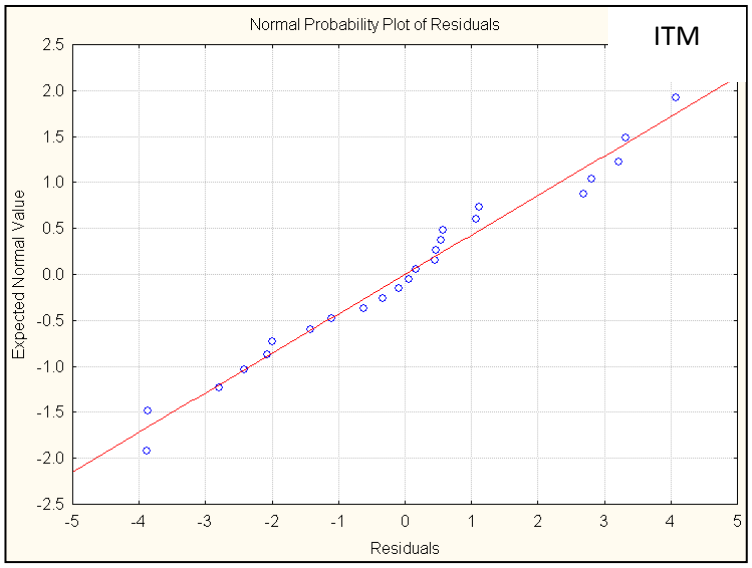
86% de la variación del CO es explicada por la TA, con un nivel de significancia p = 0.0000, los errores estándar nos muestran la significancia de los coeficientes B, por ejemplo para TA el error estándar es más pequeño que el coeficiente B, a diferencia del resto de las variables en el que el error estándar es similar al coeficiente B, por lo que la TA es la única variable con significancia en esta ecuación, se observa y al igual que en UABC el aforo es la única variable que no aporta un valor a la ecuación. La ecuación resultante es la siguiente:

$$CO = 26.04 + VV(1.01) + TA(-1.08) + AFORO(0.00) + EST(0.46)$$

Tabla 21. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en ITM.

N=24	Regression Summary for Dependent Variable: CO (ITM DICIEMBRE 11 2004 in ITM DICIEMBRE 11 DATA) R= .94295466 R^2= .88916350 Adjusted R^2= .86582950 F(4,19)=38.106 p<.00000 Std.Error of estimate: 2.4328					
	Beta	STd. Error of Beta	B	Std. Error of B	t(28)	p-level
Intercept			26.0448	9.4842	2.7461	0.0128
VV	0.2521	0.1826	1.0174	0.7369	1.3806	0.1834
TA	-0.9819	0.4202	-1.0848	0.4643	-2.3365	0.0306
AFORO	-0.0330	0.1595	-0.0001	0.0006	-0.2066	0.8385
EST.ATM.	0.1487	0.2404	0.4602	0.7438	0.6188	0.5434

La tendencia de los valores esperados VS los residuales es buena, se muestran en la Gráfica 38 ya que siguen la línea de la normal, por lo que se considera una buena aproximación de la ecuación obtenida con estos datos.



Gráfica 38. Distribución de los valores normales esperados VS residuales.

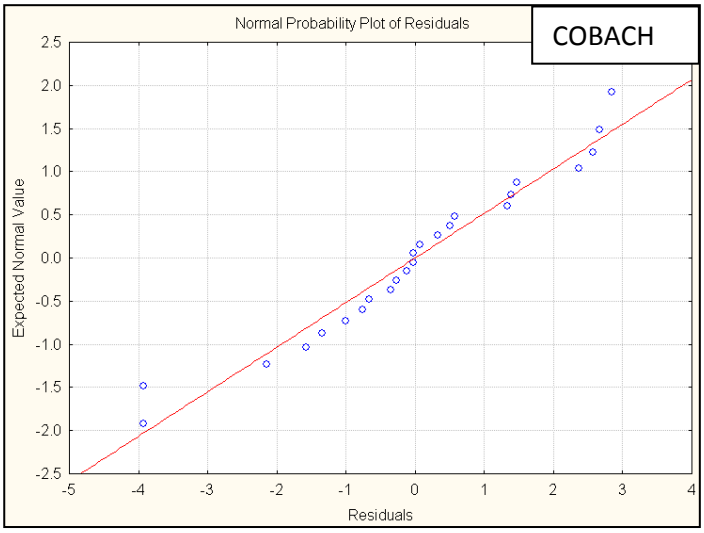
En la Tabla 22, se presentan los datos resultantes del análisis de regresión múltiple aplicado a los datos del CO, VV, AFORO, ESTABILIDAD y TA para el episodio del 11 de diciembre de 2004 en COBACH, aplicando el mismo procedimiento que para UABC e ITM. El valor de R^2 ajustada fue de 0.90, con un nivel de significancia p = 0.0000;, la estabilidad atmosférica es la única variable sin significancia en esta ecuación, el resto de las variables presentan una significancia aceptable, el AFORO una vez mas es la variable que no interviene para explicar el CO. La ecuación resultante es la siguiente:

$$CO = 25.96 + VV(2.86) + TA(-1.72) + AFORO(0.00) + EST(0.84)$$

Tabla 22. Regresión múltiple para el 11 de diciembre de 2004 en COBACH.

N=24	Regression Summary for Dependent Variable: CO (COBACH DICIEMBRE 11 2004 in COBACH DICIEMBRE 11 DATA) R= .95924344 R²= .92014798 Adjusted R²= .90333703 F(4,19)=54.735 p<.00000 Std.Error of estimate: 1.9991					
	Beta	STd. Error of Beta	B	Std. Error of B	t(19)	p-level
Intercept			25.9671	5.7911	4.4839	0.0003
VV	0.3917	0.1467	2.8605	1.0714	2.6699	0.0151
TA	-1.6131	0.2707	-1.7253	0.2895	-5.9594	0.0000
AFORO	1.1632	0.1310	0.0039	0.0004	8.8769	0.0000
EST.ATM.	0.2755	0.1506	0.8414	0.4598	1.8298	0.0830

La tendencia de los valores esperados VS los residuales es buena, los que muestran en la Gráfica 39 ya que siguen la línea de la normal, por lo que se considera una buena aproximación de la ecuación obtenida con estos datos.



Gráfica 39. Distribución de los valores normales esperados VS residuales.

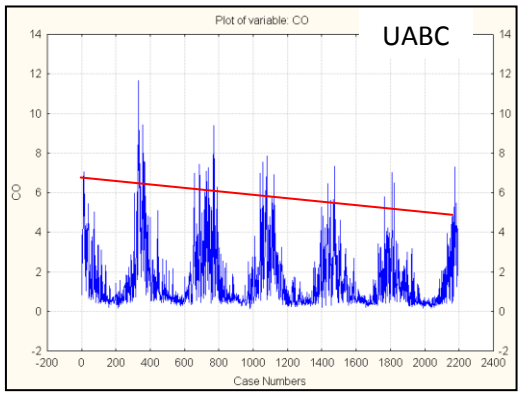
5.8 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO.

5.8.1 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ARIMA AL CO.

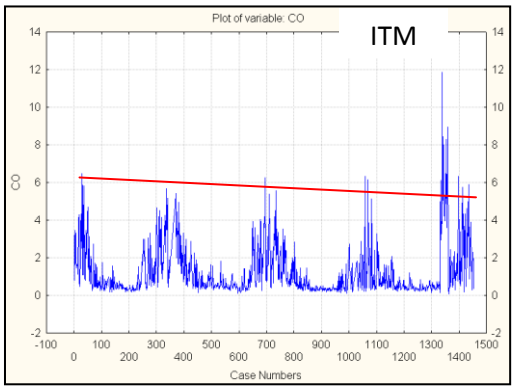
Como se mencionó en la metodología, se utilizó la técnica ARIMA para identificar la naturaleza del fenómeno representada por la secuencia de observaciones del CO, y mediante ella, proponer un modelo que determine los futuros valores del CO; los datos de entrada son los correspondientes a los 2100 días del periodo de estudio, comenzando con el 1 de enero de 2000 hasta el 31 de diciembre de 2005.

5.8.1.1 FASE DE IDENTIFICACIÓN.

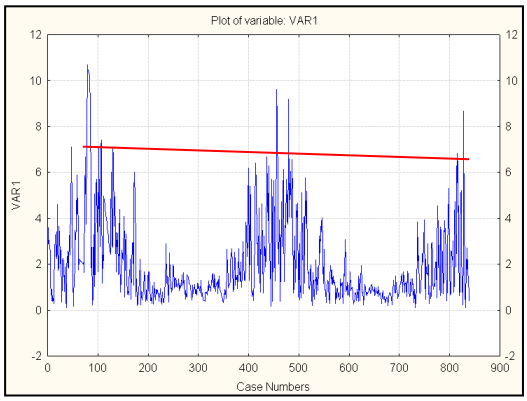
En las Gráfica 40, 41 Y 42 se presentan las distribuciones de los datos promedios diarios en el periodo de estudio para la UABC, ITM y COBACH; debido a la falta de continuidad de funcionamiento de los equipos de medición, los datos de ITM comienzan en enero de 2002, los de COBACH de septiembre de 2002 a diciembre de 2004, UABC fue la única estación donde se pudo trabajar con todos los datos. En las Figuras 40, 41 y 42 se aprecia como los datos tienen un ciclo bien definido, es decir que aumenta durante el invierno y disminuye en el verano, además se observa la tendencia a disminuir.



Gráfica 40. Distribución de los valores promedio diarios de CO en UABC.

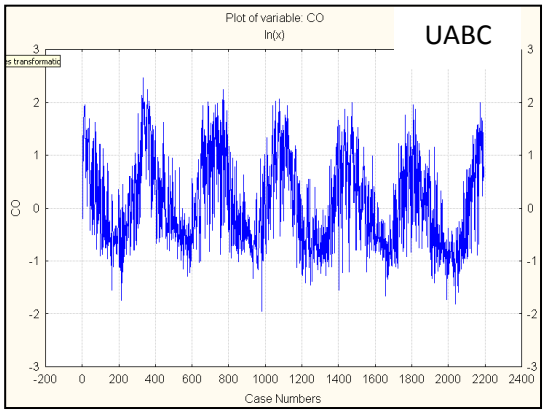


Gráfica 41. Distribución de los valores promedio diarios de CO en ITM.

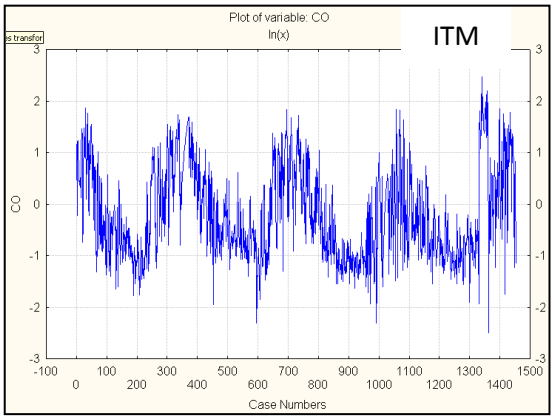


Gráfica 42. Distribución de los valores diarios de CO en COBACH.

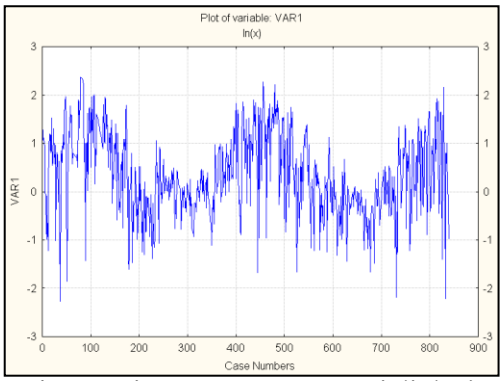
En las tres series presentadas (UABC, COBACH e ITM) se muestra una clara tendencia a disminuir en el transcurso de los años, además de la estacionalidad del CO al aumentar en invierno y disminuir en verano, así que el primer paso consistió en suavizar la serie para eliminar la tendencia observada; esto se logró aplicando un logaritmo natural (ln). En las Gráficas 43, 44 y 45 se presenta esta transformación para UABC, ITM y COBACH.



Gráfica 43. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en UABC.



Gráfica 44. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en UABC.



Gráfica 45. Transformación con logaritmo natural (ln) de la serie en COBACH.

Con esta transformación, aun la dependencia serial, es decir la autocorrelación es muy fuerte como se muestra en los autocorrelogramas de las Figuras 47, 48 y 49, por lo que en el siguiente paso se aplicó un retardo (lag) para tratar de eliminar esa dependencia serial.

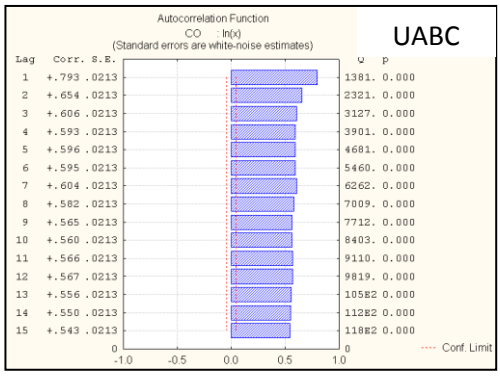


Figura 47. Autocorrelación para ln en la serie de UABC.

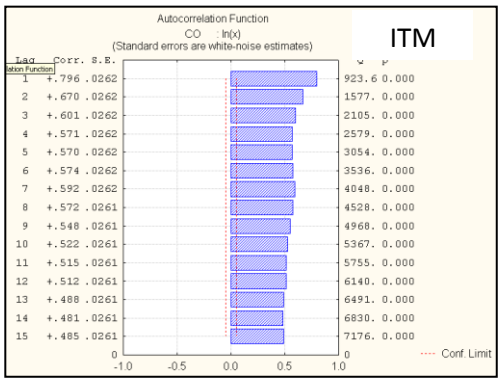


Figura 48. Autocorrelación para ln en la serie de ITM.

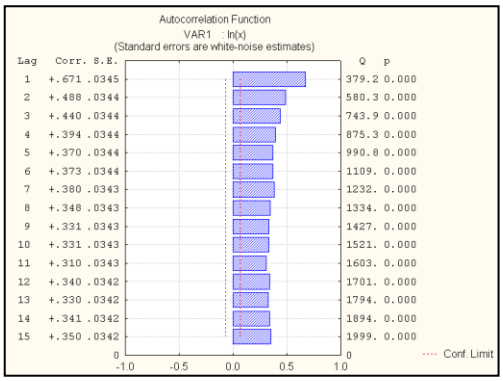
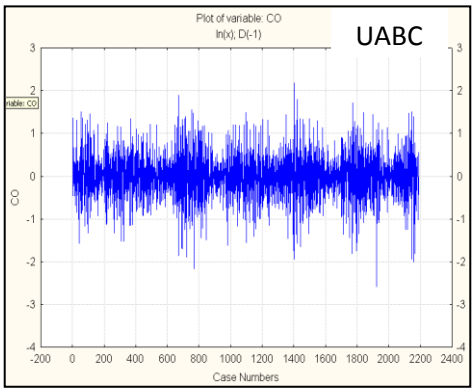
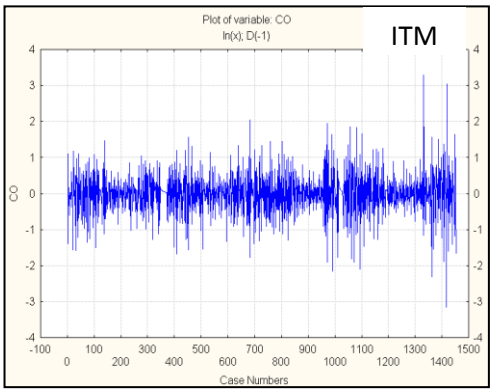


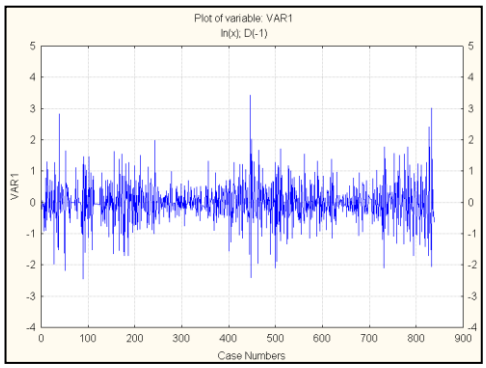
Figura 49. Autocorrelación para ln en la serie de COBACH.



Gráfica 46. Ajuste para ln con lag 1 en UABC.



Gráfica 47. Ajuste para ln con lag 1 en ITM.



Gráfica 48. Ajuste para ln con lag 1 en COBACH.

A continuación se presentan en las Figuras 49, 50 y 51, los resultados de la autocorrelación para UABC, ITM y COBACH, la cual mejora considerablemente, observándose que los valores máximos de esta autocorrelación se presentan en los primeros dos lags, a partir del tercer lag la mayoría de los valores de autocorrelación aparece dentro de las bandas de confianza.

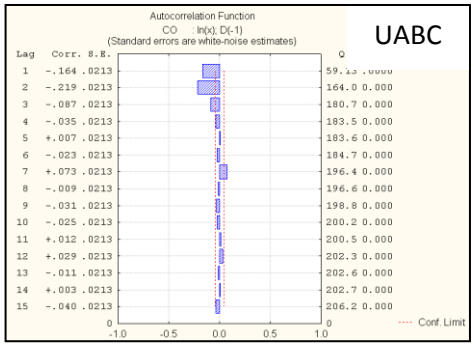


Figura 50. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de UABC.

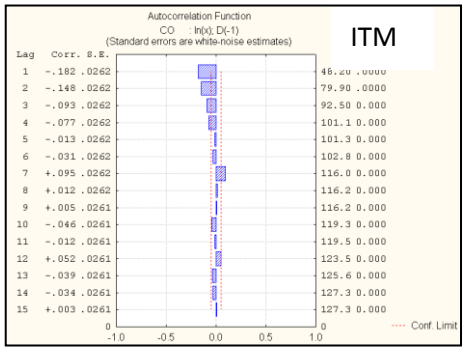


Figura 51. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de ITM.

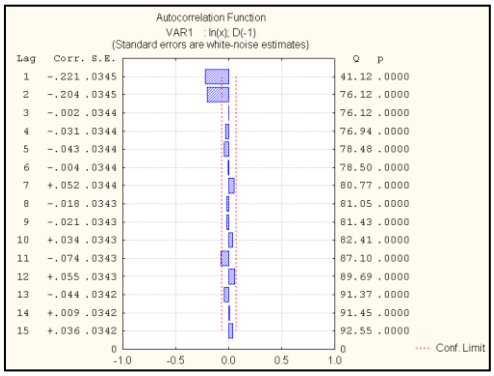
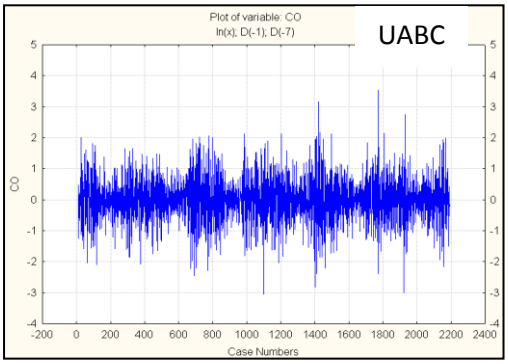
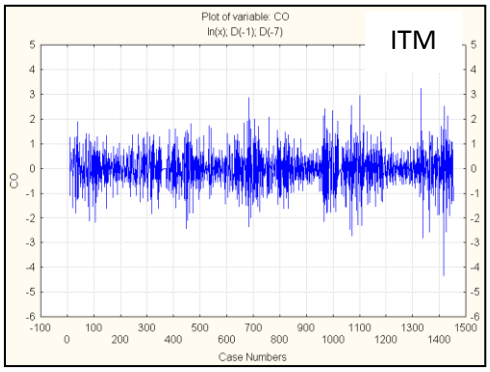


Figura 52. Autocorrelación para ln, D(-1) en la serie de COBACH.

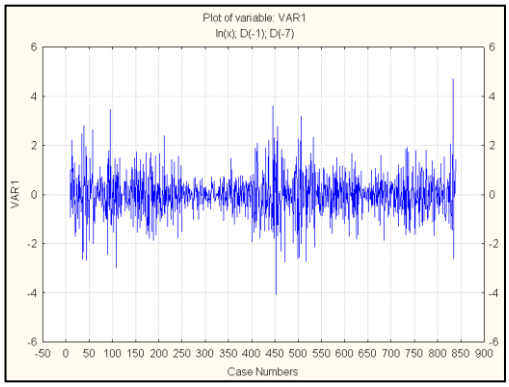
A continuación se aplicó un retardo (lag) de 7 por considerarse que los períodos semanales reflejan estacionalidad, este ajuste se muestra en las Gráficas 49, 50 y 51, para UABC, ITM y COBACH en los que parece verse series libres de estacionalidad y tendencia.



Gráfica 49. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en UABC.



Gráfica 50. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en UABC.



Gráfica 51. Ajuste para ln, D(-1), D(-7) en COBACH.

Después de esta transformación los resultados de la autocorrelación muestran que algunos lags están fuera de la banda de confianza, pero con una correlación muy pequeña, por lo que se considera aceptable. Al mejorar su autocorrelación con este grado de ajuste, se considera aceptable y se presenta en las Figuras 53, 54 y 55, UABC, ITM y COBACH respectivamente.

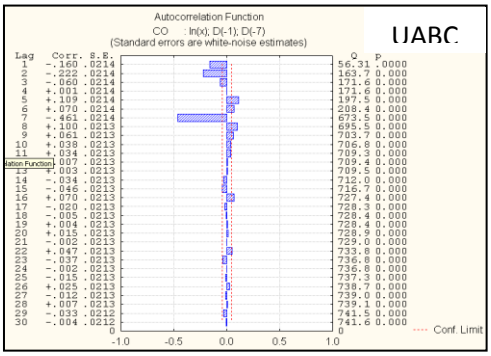


Figura 53. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en UABC.

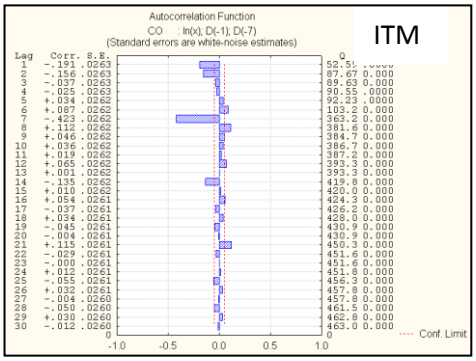


Figura 54. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en ITM.

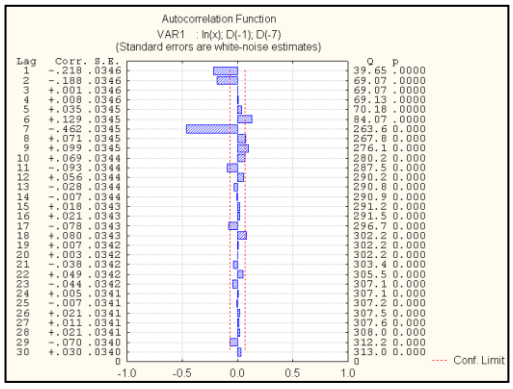
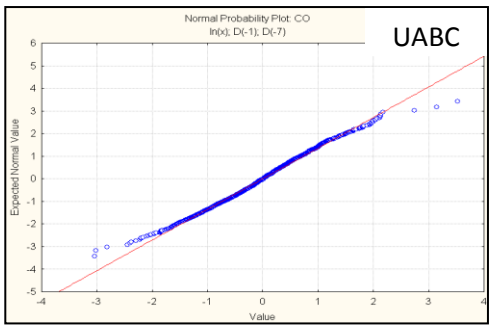
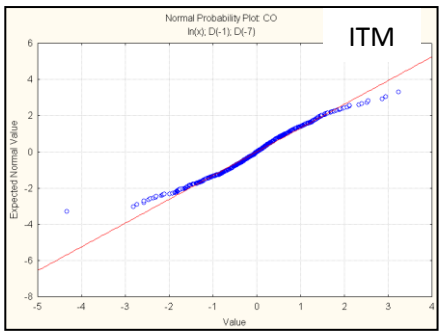


Figura 55. Autocorrelaciones para ln, D(-1), D(-7) en COBACH.

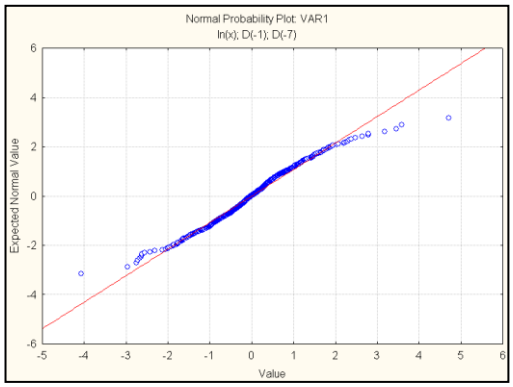
En las gráficas de probabilidad la normal se mejoró también con las transformaciones realizadas a la serie de datos; en las Gráficas 52, 53 y 54 se muestra la normal para la función de ln, D(-1), D(-7) de UABC, ITM y COBACH respectivamente. Se observa como los datos se distribuyen sobre la línea de la normal y solo los datos de los extremos de la línea recta.



Gráfica 52. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en UABC.



Gráfica 53. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en ITM.



Gráfica 54. Distribución normal para la función ln, D(-1), D(-7) en COBACH

.

5.8.2 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.

Una vez lograda la identificación de los parámetros autoregresivos (p,d,q) y estacionales (P,D,Q), se puede continuar con la aplicación de la técnica ARIMA, en este caso los valores fueron de (0,1,1) y (0,1,1). Para la tendencia se aplico un lag de 1 en un paso, y para la estacionalidad se aplico un lag de 7 en un paso, ver tabla 22.

Tabla 23. Resultados de la técnica ARIMA en UABC.

Variable:	**CO**	**UABC**	
Transformations:	**ln(x),D(1),D(7)**		
Model:	**(0,1,1)(0,1,1)**	**Seasonal lag:**	**7**
No. of obs.:	**2184**	**Initial SS=**	**1178.8**
		Final SS=	**628.30(53.30%)**
		MS=	**0.28795**
Parameters (p/Ps-Autoregressive, q/Qs-Moving aver.); highlight: p<.05			
	q(1)	**Qs(1)**	
Estimate:	**0.35439**	**0.92815**	
Std.Err.:	**0.03556**	**0.00802**	

Tabla 24. Resultados de la técnica ARIMA en ITM.

Variable:	**CO**	**ITM**	
Transformations:	ln(x),D(1),D(7)		
Model:	(0,1,1)(0,1,1)	**Seasonal lag:**	7
No. of obs.:	1445	**Initial SS=**	820.96
		Final SS=	458.17 (55.81%)
		MS=	0.31751

Parameters (p/Ps-Autoregressive, q/Qs-Moving aver.); highlight: p<.05

	q(1)	Qs(1)
Estimate:	0.34516	0.91627
Std.Err.:	0.04187	0.01084

Tabla 25. Resultados de la técnica ARIMA en COBACH.

Variable:	**CO**	**COBACH**	
Transformations:	ln(x),D(1),D(7)		
Model:	(0,1,1)(0,1,1)	**Seasonal lag:**	7
No. of obs.:	832	**Initial SS=**	704.87
		Final SS=	344.41 (48.86)
		MS=	0.41495

Parameters (p/Ps-Autoregressive, q/Qs-Moving aver.); highlight: p<.05

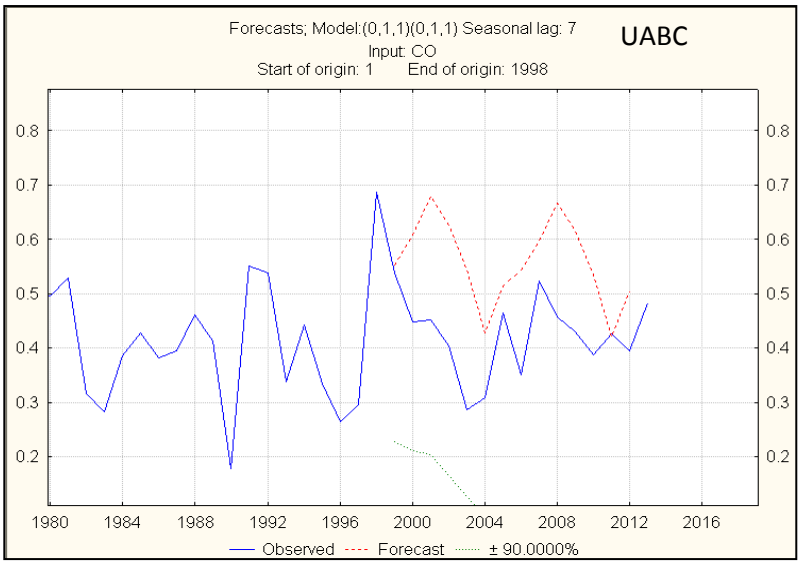
	q(1)	Qs(1)
Estimate:	-0.4908	0.78094
Std.Err.:	0.02678	0.02323

5.8.3 FASE DE PRONÓSTICO, TÉCNICA ARIMA.

Al aplicar la técnica ARIMA con los resultados previos se obtiene un pronóstico aceptable con los datos ingresados, en general durante los periodos de verano el modelo sobreestima la predicción, durante los periodos de invierno el modelo en ocasiones sobreestima y en otras subestima los valores predichos.

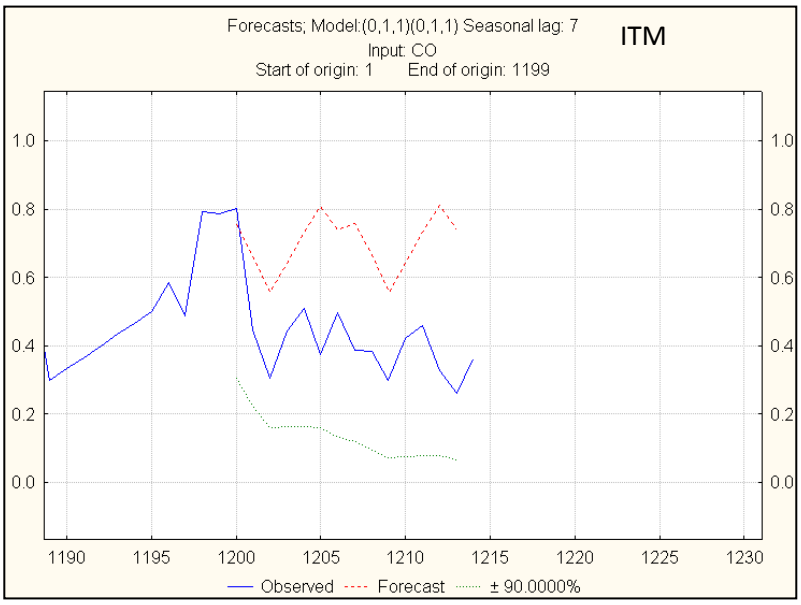
En la Gráfica 55 se presenta la predicción de valores para un periodo de verano en UABC, aquí se observa como el modelo esta sobreestimando, aunque las cantidades son bajas (menos de 1 ppm) y no representan ningún problema a la salud, se aprecia que los valores pronosticados siguen el mismo patrón que los

valores reales, otro punto importante es que los valores pronosticados se encuentran dentro de los límites de confianza.



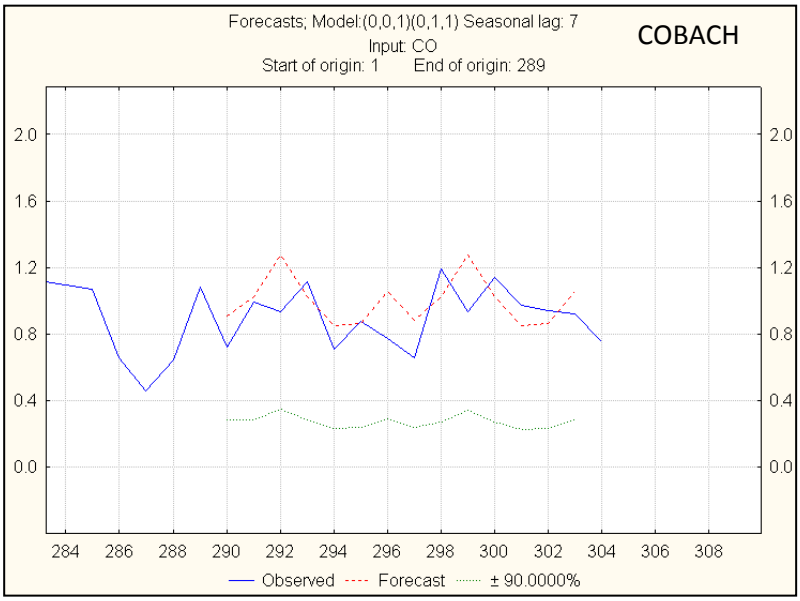
Gráfica 55. Predicción de CO para verano en UABC.

En la Gráfica 56 se observan los valores pronosticados para un periodo de verano en ITM, al igual que en UABC los valores pronosticados sobrestimaron los valores reales, el valor es menor de 1 ppm y siguen el mismo patrón de los valores reales, los valores pronosticados se encuentran dentro de los límites de confianza.



Gráfica 56. Predicción de CO para verano en ITM.

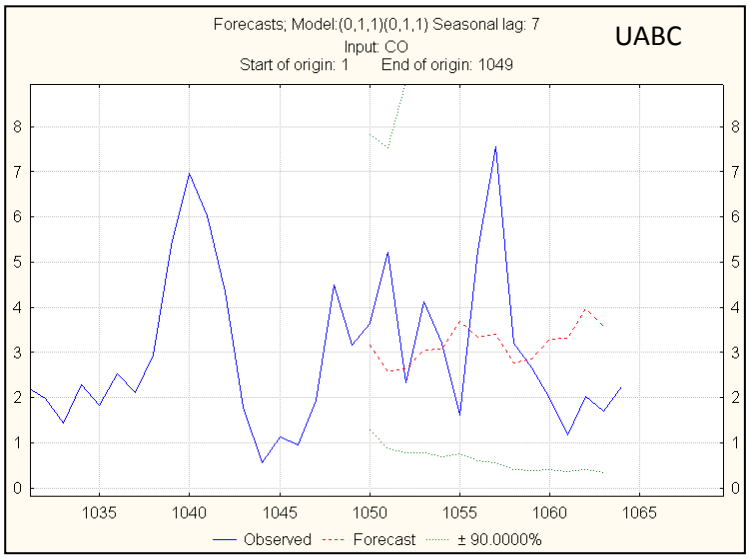
La Gráfica 57, presenta los datos de predicción de CO para el COBACH en un periodo de verano, en este caso los valores son mínimos, cercanos a 1 ppm, al igual que en UABC e ITM los valores pronosticados coinciden con el patrón de los valores reales, en este caso prácticamente coinciden ambas líneas, además de que el valor pronosticado se encuentra dentro de los límites de confianza.



Gráfica 57. Predicción de CO para verano en COBACH.

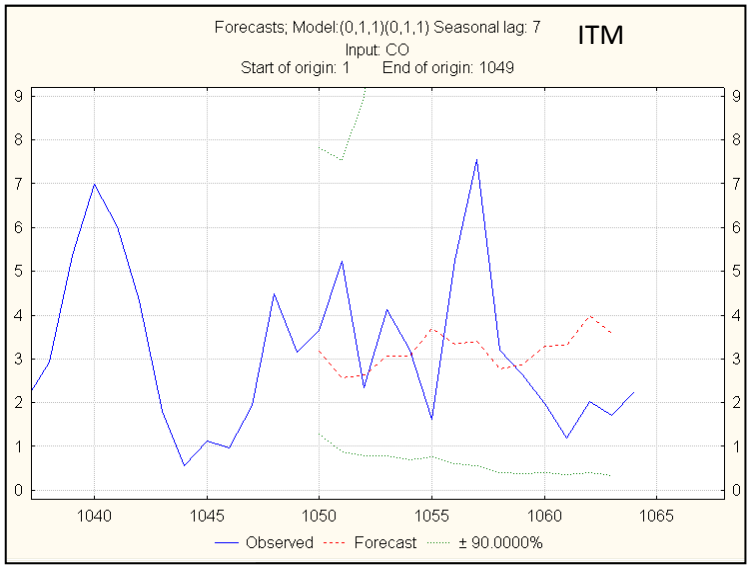
En las Gráficas 58, 59 y 60, se presentan los valores predichos para UABC, ITM y COBACH respectivamente para los periodos de invierno, en general se observa que las predicciones están siguiendo a los valores reales, pero en algunas ocasiones sobreestima y en otras subestima, los valores pronosticados siempre se encuentran dentro de los limites de confianza.

En la Gráfica 58 se presentan las predicciones de CO para un periodo de invierno en UABC, los valores máximos reales alcanzan hasta 7.5 ppm, en cambio los valores pronosticados, solo llegan a 4 ppm, por lo que en este caso los valores predichos son sobreestimados, pero los valores predichos siguen los valores reales.



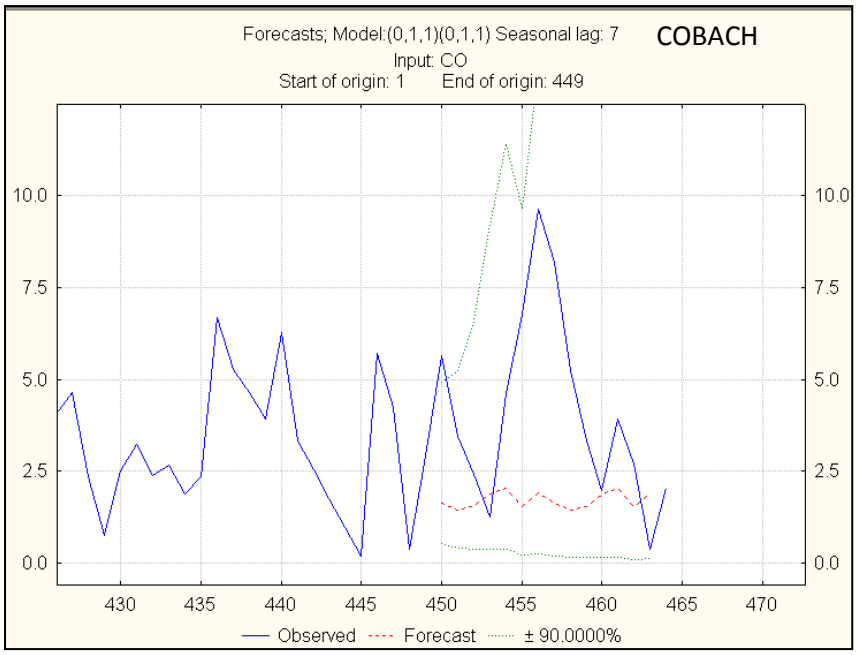
Gráfica 58. Predicción de CO para invierno en UABC.

La predicción de CO para un periodo de invierno en ITM se presenta en la Gráfica 59, al igual que en UABC el modelo subestimó los valores pronosticados durante los valores máximos, que fueron de 7 ppm (reales) y el modelo estimó 3.5 ppm, aun así los valores pronosticados siguen a los valores reales.



Gráfica 59. Predicción de CO para invierno en ITM.

En la Gráfica 60, se presentan los datos de predicción para un periodo de invierno en COBACH, en este caso también se subestimaron los valores, aunque en este caso son mayores las diferencias, 9.5 ppm el valor real, y 2.0 ppm el valor predicho, el modelo intenta seguir el patrón de los valores reales, pero en general no se aprecia un buen pronostico.



Gráfica 60. Predicción de CO para invierno en COBACH.

Los resultados de la autocorrelación entre los valores observados y los estimados se presentan en las figuras 56, 57 y 58, para UABC, ITM y COBACH respectivamente, donde se observa que en los primeros lags existe una correlación que sale de los límites de confianza pero que es muy pequeña, en el caso de COBACH es donde esta situación no se da ya que a lo largo de los 30

lags que se consideraron siguen apareciendo algunos resultados fuera de los limites de confianza.

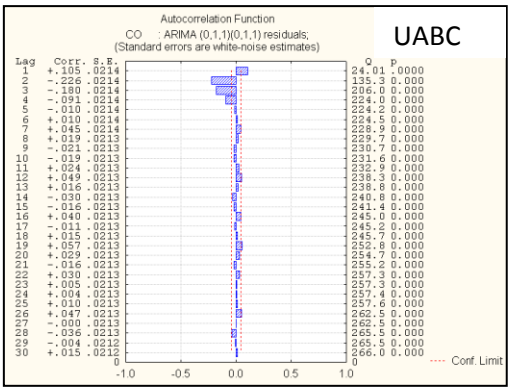


Figura 56. Autocorrelación de los valores observados VS pronosticados en UABC.

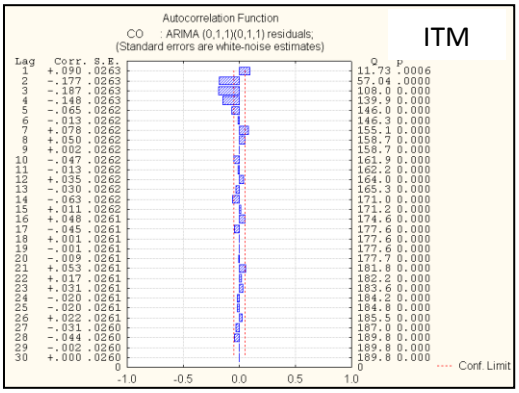


Figura 57. Autocorrelación de los valores observados VS pronosticados en ITM.

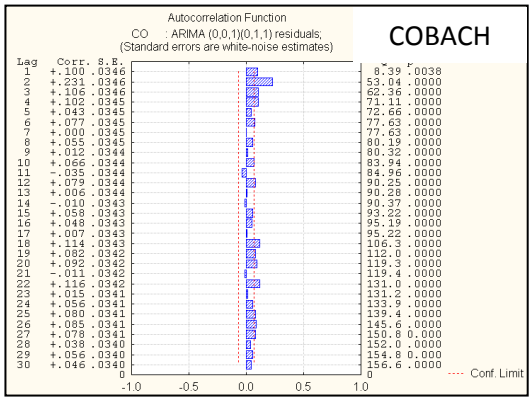


Figura 58. Autocorrelación para los valores observados VS pronosticados en COBACH.

5.8.4 ANÁLISIS DE RESIDUALES.

El siguiente paso es revisar si los residuales están normalmente distribuidos, para verificar que se cumpla con esta condición en las Figuras 59, 60 Y 61, se presentan para las tres estaciones de monitoreo, en UABC y COBACH los valores se distribuyen uniformemente pero en la parte inferior de la línea se separan es decir que el problema de este modelo lo representarían valores mínimos, en lo que corresponde a ITM los valores están separados en la parte inferior y superior. Esta distribución de residuales indica que existe algún "problema" con la técnica ARIMA y parece haber un ajuste no muy bueno en alguna región de la serie de datos.

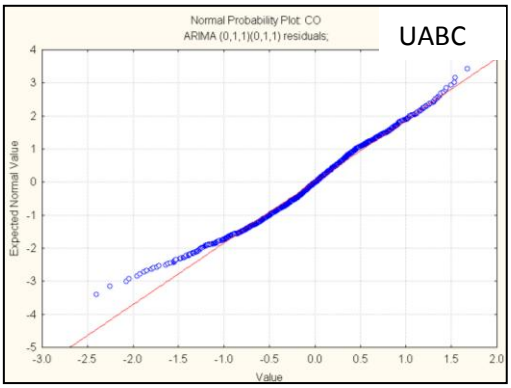


Figura 59. Resultados de la normal de los residuales en UABC.

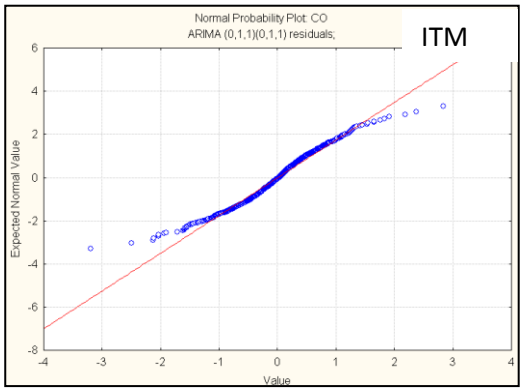


Figura 60. Resultados de la normal de los residuales en ITM.

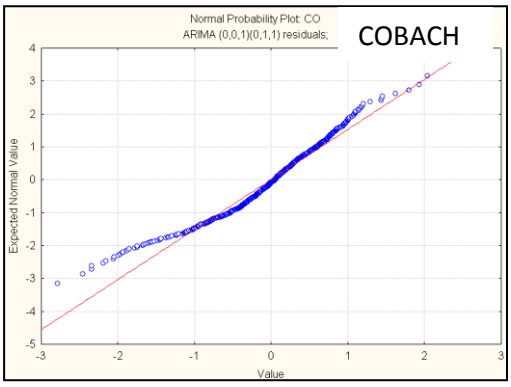


Figura 61. Resultados de la normal de los residuales en COBACH.

Después de este análisis se considera que el modelo propuesto si bien es viable para el pronóstico del CO, al cumplir con los requisitos de la técnica ARIMA, los resultados de los análisis de cada una de las estaciones indican que habría que ser cautos en las predicciones realizadas y tal vez tomarlas solamente como una guía preventiva. Estos modelos intentan pronosticar el valor máximo del siguiente día.

6. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de este trabajo se concluye de una manera satisfactoria, ya que el desarrollo del modelo de predicción del monóxido de carbono en la atmósfera urbana de la ciudad de Mexicali, con la técnica ARIMA fue posible, así como con los modelos de regresión múltiple; ambos métodos fueron obtenidos de manera independiente, pero se complementan entre sí, ya que mientras el modelo de regresión múltiple es eficiente en estimar los valores de concentración que exceden el umbral normativo de Estados Unidos (9 ppm en 8 horas), el procedimiento ARIMA predice los valores promedio diarios de la concentración de CO. El conocimiento obtenido sobre el desarrollo de los episodios de contaminación en la ciudad, así como las causas que los producen, unas naturales y otras antropogénicas, fue de gran ayuda para desarrollar ambos métodos estadísticos.

Los ciclos de CO analizados fueron en diferentes escalas: anual, encontrándose un incremento del CO durante los meses de invierno y una disminución considerable durante los meses de verano, esto parece ser explicado por la marcha anual de temperaturas del aire; en la escala mensual se aprecia el mismo comportamiento que en la anual donde en los meses de invierno las concentraciones de CO aumentan y en los meses de verano disminuyen, en la escala diaria, no se aprecian variaciones entre días, entre semana y fin de semana, es decir realmente no afecta si es un día laboral o no, la creación de episodios sigue dependiendo de las condiciones meteorológicas; durante el día si existen unos ciclos bien definidos, los valores más altos generalmente se dan durante las mañanas (periodo más frio del día y se incrementa el tráfico

vehicular), disminuye a media mañana se incrementa un poco durante el mediodía, vuelve a disminuir a media tarde y finalmente se incrementa una vez más durante la noche (este episodio de las noches puede extenderse hasta media mañana del siguiente día durante los meses de invierno, durante el verano se aprecian estos ciclos pero de una manera considerablemente menor).

El resultado de la modelación propuesta mediante la regresión lineal múltiple, para predecir la concentración de CO con las variables temperatura del aire (TA) y velocidad del viento (VV), se encontró que de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) el mayor porcentaje de variabilidad durante el mes de enero de 2004 es explicado en la UABC (51%), seguido por ITM (35%) y por último COBACH (25%) de acuerdo a los resultados anteriores se considera que esta propuesta no es la más adecuada.

Al incorporar las variables de aforo vehicular (AFORO) y estabilidad atmosférica (EST.ATM.) a las ya mencionadas (TA y VV) para el episodio del 11 de diciembre de 2004, día en que se rebasó la norma de 9 ppm en 8 horas en las 3 estaciones analizadas, se encontró que gran parte de la variabilidad es explicada por el R^2 encontrado en la propuesta del modelo de regresión múltiple; los coeficientes tuvieron un valor de 0.88 en UABC, ITM con 0.86 y COBACH con 0.90. Estos resultados indican que el modelo propuesto es adecuado y que las principales variables que explican las concentraciones máximas de CO son TA, VV y estabilidad atmosférica, ya que el aforo vehicular no es significativo, esto concuerda con lo encontrado en el aforo realizado, ya que ahí se observa que el tráfico vehicular es constante durante la semana

(lunes a viernes) disminuye durante la noche, y en los fines de semana, se considera entonces que si no existe algún evento anormal (lluvias, accidentes, etc) el tráfico se mantiene indicando una fuente constante que solo se ve afectada por las variables meteorológicas.

La utilización de la técnica ARIMA es una buena opción para predecir el comportamiento del monóxido de carbono, ya que sólo se necesita contar con los datos de este contaminante para poder trabajarla. Aunque es necesario primeramente pasar por una serie de procedimientos para finalmente poder llegar a la etapa de pronóstico, esta dio resultados satisfactorios para el caso de la ciudad de Mexicali.

De acuerdo a la hipótesis planteada, esta es aceptada parcialmente ya que la predicción de CO fue mejor cuando se incorporaron solamente variables meteorológicas (TA, VV y estabilidad atmosférica).

El análisis de la información recabada de las diferentes estaciones de monitoreo atmosférico dejo claro la importancia de tener un mayor control sobre las emisiones de monóxido de carbono a la atmósfera, ya sean de fuentes fijas (quemas domiciliarias o industrias) como del transporte en general, que es el mayor contribuyente de emisiones a la atmósfera.

Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo de episodios de contaminación son las condiciones climáticas, principalmente durante el invierno (temperatura del aire, velocidad y dirección del viento y estabilidad

atmosférica), aunado a las emisiones a la atmósfera de monóxido de carbono se generan los episodios de contaminación que dañan la salud de la población en general, en especial la de niños, adultos mayores y personas que desarrollan actividades al aire libre. Se encontró que en el periodo de estudio las concentraciones de monóxido de carbono tienden a disminuir al paso de los años, siendo mayores las concentraciones en la estación de COBACH, y observando que las condiciones climáticas no cambian de una estación a otra en segundo lugar se encuentra la estación de UABC, aunque en algunas estaciones se encuentra primero UABC y luego COBACH, finalmente la estación ITM es quien tiene menores concentraciones de CO, pero es quien se encuentra más retirada de una vialidad principal, por lo que el proceso de dispersión se da de una mejor manera.

El trabajo de investigación realizado cumple con el objetivo de analizar de manera detallada el comportamiento del CO, aborda su relación con variables meteorológicas y el tráfico vehicular, propone modelos estadísticos para predecir su concentración, y además se analiza su distribución tiempo-espacio con un gradiente oeste-noreste, obtenido a partir de solo 5 estaciones, se intuye que en las principales vialidades de la ciudad las concentraciones de CO sean mayores, por lo que se recomienda ampliar la red de monitoreo ya sea con puntos fijos o móviles para poder obtener una modelación más adecuada.

La utilización de las variables meteorológicas y el tráfico vehicular, funciona de la misma manera que lo hizo Comrie (1999) en su estudio en Phoenix, Arizona, al utilizar estas variables para predecir el monóxido de carbono.

El análisis de la estabilidad atmosférica en la ciudad es un proceso que se debe dar a la par de la medición del monóxido de carbono para poder entender los episodios en la ciudad, ya que esta influye directamente en el proceso de dispersión del contaminante. Este análisis demostró que al igual que en otras zonas este periodo de estabilidad puede durar incluso hasta media mañana cuando se rompe, para dejar circular el aire atrapado en la capa superficial.

La necesidad de contar con mediciones de estabilidad atmosférica, como un parámetro muy importante en los estudios de contaminación atmosférica, obligó a realizar mediciones de gradiente térmico para estimarla indirectamente, por lo que sería de gran ayuda, en estudios posteriores, contar con mediciones continuas y directas de esta variable, por lo menos hasta la capa límite, que es donde los contaminantes atmosféricos quedan atrapados al presentarse el fenómeno de inversión térmica.

El tráfico vehicular es un elemento que se debe considerar con mayor cuidado, aunque en la actualidad ya se cuenta con un programa de verificación vehicular, aplicado a la flota del municipio, el uso de gasolinas mejoradas y las condiciones de los vehículos disminuirían las emisiones, en la ciudad de Mexicali el número de vehículos en circulación aumenta día a día. Además de que aunque el flujo vehicular se está agilizando en las principales vialidades, lo único que se logra es que la concentración de vehículos se de en otros lugares de la ciudad.

Se considera que el estudio del CO en la ciudad de Mexicali se debe continuar, sobre todo el desarrollo de un modelo que lleve a estimar los valores de este contaminante en las principales vialidades, ya que las personas más afectadas por este gas son las que transitan por estas, siendo entonces afectada una gran parte de la población de la ciudad de Mexicali.

7. PRODUCTO DE LA INVESTIGACION.

Como producto de la presente investigación se participo con un artículo en el 2do Coloquio de Posgrado del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, con el título: Análisis espacial y temporal del monóxido de carbono en Mexicali, B. C.

REFERENCIAS.

- ARB, 2005. Association between exposure to traffic and heart disease. February 2005.
- ARB, 2007. California´s Air Quality Key Events.
- ARB, 2007. Health effects associated with traffic-related air pollution. Air Resources Board. 22 de Marzo de 2007.
- Arya, S.P.S. 1981. Parameterizing the height of the stable atmospheric boundary layer. P 1192-1202

- Burroughs, W. J. (1997). Does the Weather Really Matter? (Cambridge: Cambridge University Press).

- CalTrans, 2002. Imperial County Transportation Plan Update Highway Element.
- Chatfield, C. (2004), The Analysis of Time Series, Chapman & Hall.
- Comrie, A C; Diem, J E. 1999. Climatology and forecast modeling of ambient carbon monoxide in Phoenix, Arizona. Atmospheric environment. Vol. 33. No. 30. Diciembre de 1999. pp. 5023-5036.
- Crawford, J. Jordan, C. Dresser, G. 1999. Modal emissions modeling with real traffic data. Texas Transportation Institute.

- Dames & Moore. 1986. An evaluation of carbon monoxide emissions models and mobile source dispersion models applicable to Alaskan cities.
- Diario Oficial de la Federación, 2005. Decreto publicado el 22 de agosto de 2005.
- Dolislager, Leon J. 1997. The effect of California´s Wintertime oxygenated fuels program on ambient carbon monoxide concentrations

- Environmental Protection Agency, 2007. Air Quality Models. Consulta electrónica:
- EPA, 1999. Environmental Protection Agency. 1999 National Emissions by source: Carbon Monoxide. http://www.epa.gov/scram001/aqmindex.htm 9-mayo-07

- Flacshbart, P. G.,1999. Models of exposure to carbon monoxide inside a vehicle on a Honolulu highway. Journal of Exposure analysisand Enviromental Epidemiology (1999) 9, 245-260.
- Fruin, S. 2004. The Importance of in-vehicle exposures. Air Resources Board. 9 de Diciembre de 2004.

- Greenbaum, D. 2002. The Health Effects of Motor Vehicle Emissions. Concluding workshop: Reducing Vehicle Emissions in Manila. 28 de Febrero de 2002.
- Griffits-Sattenspiel Bevan, Wilson Wendy. 2009. The Carbon Footprint of Water. River Network, mayo 2009.
- Gualtieri, G. Tartaglia, M. 1996. CO dispersion models for signalized road intersections: Gaussian vs. empirical approach Laboratory for Meteorological and Environmental Modelling,CNR-IBIMET, Firenze, Italy.

- IMIP, 2008. XX Ayuntamiento de Mexicali, Sistema Municipal del Transporte, Plan Maestro de Vialidad y transporte.
- IMTA, 2010. Extractor rápido de información climatológica, V 2.0 (Información digital en disco compacto)
- INEGI, 2006. II Conteo de Población y Vivienda.
- INE-Mexicali, 1999. Inventario de Emisiones para Mexicali. ICARI,
- Instituto Nacional de Ecología, 2007. Consulta electrónica: http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/109/cap4.html 9 de Mayo de 2007.

- Jungers, Bryan D. Niemeier, Deb. Eisinger, Douglas. 2006. A survey of air quality models for project level conformity analysis.

- Mendoza,A. Quintero, M. 2006 Contaminación y medio ambiente en Baja California.
- Meng, YY. Wilhelm, M. Rull , RP. English, P. Ritz, B. 2007. Traffic and outdoor air pollution levels near residences and poorly controlled asthma in adults.
- Minor, Milton. Periódico La Crónica, edición electrónica 19 de agosto de 2007.

- Montgomery Douglas C. and Runge George C., 2005. Applied Statistics & Probability for Engineers (International Edition), Ed. Wiley 706 pp.
- Montgomery Douglas C, Elizabeth A. Peck, Vining G. Geofrey. 2012. Introduction to Linear Regression Analysis, 5th Edition, Wiley Series in Probability and Statistics, NY, 627 pp.

- Osses, M. Dursbeck, F. Corvalan, R. 2000. Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por transporte urbano: El caso de Santiago de Chile.
- Ojolo, SJ. Oke, SA. Dinrifo, RR. Eboda, FY. 2007. A survey on the effects of vehicle emissions on human health in Nigeria.

- Pasquill, F. 1961. The estimation of the dispersion of windborne material, meterol. Mag., 90, 33-49

- Pope III, C. Arden. Ezzati, Majid. Dockery, Douglas W.. 2009. Reductions in Fine Particulate Matter and Improvements in Life Expectancy. The New England Journal of Medicine. 360-4. Enero 2009. pp.376-386.

- Quintero, M. 2006. Contaminación y medio ambiente en Baja California.

- Reyna, M. A; Quintero, M; Collins, K. 2005. Correlation Study of the association of PM10 with the main Respiratory Diseases in the populations of Mexicali, Baja Califonia and Imperial County, California. Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica. Vol. XXVI, número I. Marzo de 2005. pp. 22-36.

- Secretaría de Planeación y Finanzas. 2006.
- Secretaría de Protección al Ambiente de Baja California. Consulta electrónica: http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecologia/problematicas/mexicali_valle.htm (9-MAYO-2007)
- Seibert, P. 1996. The role of ground-based remote sensing techniques in providing meteorological input to modern dispersion models. P 5.1-5.8
- SEMARNAT-INE, 2006. Inventario nacional de emisiones de México, 1999.

- SEMARNAT-INE, 2007. Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas.
- SEMARNAT-Secretaría de salud-Gobierno del estado de Baja California-Gobierno Municipal de Mexicali. 1999. Programa para mejorar la calidad del aire de Mexicali 2000-2005.
- Smith, Linda. 2005. Association between exposure to traffic and hearth disease. ARB.

- United States Census Bureau, 2006. Countries and areas 2006.
- United States Custom Services, Federal Fiscal Year 2002.
- USCB, 2006. United States Census Bureau, Annual estimates of the population for incorporated places in California.
- USEPA, 1999. Air quality criteria for CO.
- United States Environmental Protection Agency, 2009. http://epa.gov/climatechange/endangerment.html (20 ABRIL-2009)

- Wang J. S; Chan T. L; Ning, Z; Leung, C. W; Cheung, C. S; Hung, W. T. 2005. Roadside measurements of CO and PM 2.5. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 11, Issue 4, July 2006, pp. 242-249.
- Washington, S. Young, T. 1995. Modal activities for predicting carbon monoxide emissions from motor vehicles.
- WHO, 2000, Environmental Health Criteria CO, Second Edition.

- XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2006. Anuario estadístico Municipal 2006.
- XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2007. Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población Mexicali 2025.

- Zuk, Miriam. Tzintzum Cervantes, M. Rojas Bracho, Leonora. 2007. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.

Anexo 1.

Casos	Predicted & Residual Values (Spreadsheet13 in JULIO 2004 UABC DATA) Dependent variable: CO								
	Valor observado	Valor predicho	Residual	Standar del valor predicho	Standar del residual	Err. Std. Del Valor pre.	Distancia de Mahalanobis	Residual borrado	Distancia de Cook
1	0.596000	0.615742	-0.019742	1.46337	-0.20755	0.044047	5.465150	-0.025131	0.004989
2	0.552000	0.589409	-0.037409	1.22003	-0.39328	0.037590	3.717348	-0.044333	0.011308
3	0.791000	0.623042	0.167958	1.53083	1.76574	0.040256	4.405460	0.204604	0.276231
4	0.396000	0.538986	-0.142986	0.75406	-1.50321	0.028608	1.745859	-0.157206	0.082355
5	0.465000	0.473689	-0.008689	0.15065	-0.09135	0.024576	1.034912	-0.009311	0.000213
6	0.448000	0.438964	0.009036	-0.17025	0.09500	0.021781	0.605244	0.009536	0.000176
7	0.470000	0.517649	-0.047649	0.55689	-0.50094	0.022339	0.686930	-0.050431	0.005168
8	0.662000	0.568833	0.093167	1.02988	0.97947	0.026969	1.443803	0.101311	0.030396
9	0.610000	0.476900	0.133100	0.18032	1.39928	0.018491	0.165962	0.138327	0.026639
10	0.757000	0.490521	0.266479	0.30619	2.80149	0.022424	0.699533	0.282160	0.163008
11	0.461000	0.506333	-0.045333	0.45232	-0.47659	0.030931	2.204442	-0.050694	0.010011
12	0.565000	0.455031	0.109969	-0.02177	1.15610	0.027679	1.572443	0.120142	0.045026
13	0.314000	0.229591	0.084409	-2.10509	0.88739	0.041025	4.612754	0.103699	0.073694
14	0.190000	0.220580	-0.030580	-2.18836	-0.32149	0.051588	7.856328	-0.043323	0.020338
15	0.438000	0.547954	-0.109954	0.83694	-1.15594	0.022541	0.716889	-0.116496	0.028076
16	0.465000	0.555424	-0.090424	0.90597	-0.95063	0.028638	1.751656	-0.099438	0.033021
17	0.535000	0.498167	0.036833	0.37685	0.38723	0.021983	0.634597	0.038911	0.002979
18	0.370000	0.467800	-0.097800	0.09623	-1.02817	0.023330	0.836956	-0.104060	0.023998
19	0.500000	0.504254	-0.004254	0.43311	-0.04473	0.028334	1.694048	-0.004669	0.000071
20	0.505000	0.524643	-0.019643	0.62152	-0.20651	0.036360	3.415693	-0.023004	0.002849
21	0.395000	0.465873	-0.070873	0.07842	-0.74509	0.031649	2.353395	-0.079696	0.025904
22	0.326000	0.318090	0.007911	-1.28726	0.08316	0.028203	1.669525	0.008673	0.000244
23	0.278000	0.318363	-0.040362	-1.28474	-0.42433	0.028692	1.761818	-0.044402	0.006609
24	0.261000	0.310343	-0.049343	-1.35885	-0.51874	0.029715	1.959981	-0.054679	0.010749
25	0.296000	0.360034	-0.064034	-0.89965	-0.67318	0.027271	1.498232	-0.069769	0.014741
26	0.343000	0.272228	0.070772	-1.71108	0.74403	0.034331	2.940088	0.081372	0.031776
27	0.468000	0.432989	0.035011	-0.22547	0.36807	0.023857	0.919442	0.037361	0.003235
28	0.595000	0.565955	0.029045	1.00329	0.30535	0.024682	1.052103	0.031141	0.002405
29	0.283000	0.452324	-0.169324	-0.04679	-1.78010	0.018305	0.143251	-0.175836	0.042183
30	0.448000	0.434400	0.013600	-0.21243	0.14298	0.018765	0.199806	0.014151	0.000287
31	0.396000	0.404891	-0.008891	-0.48512	-0.09347	0.019057	0.236356	-0.009263	0.000127
Minimo	0.190000	0.220580	-0.169324	-2.18836	-1.78010	0.018305	0.143251	-0.175836	0.000071
Maximo	0.791000	0.623042	0.266479	1.53083	2.80149	0.051588	7.856328	0.282160	0.276231
Media	0.457387	0.457387	0.000000	0.00000	0.00000	0.028517	1.935484	0.000311	0.031574
Mediana	0.461000	0.473689	-0.008891	0.15065	-0.09347	0.027679	1.572443	-0.009311	0.011308

Anexo 2.

Casos	Predicted & Residual Values (Spreadsheet8 in ENERO 2004 UABC DATA) Dependent variable: CO								
	Valor observado	Valor predicho	Residual	Standar del valor predicho	Standar del residual	Err. Std. Del Valor pre.	Distancia de Mahalanobis	Residual borrado	Distancia de Cook
1	2.739000	3.213304	-0.474304	0.35453	-0.48921	0.359476	3.156472	-0.54990	0.014742
2	1.996000	1.977246	0.018754	-0.85707	0.01934	0.257153	1.142754	0.02017	0.000010
3	0.832000	0.037413	0.794587	-2.75852	0.81956	0.541897	8.404317	1.15560	0.147940
4	2.796000	2.184379	0.611621	-0.65403	0.63084	0.432063	4.990180	0.76319	0.041020
5	2.514000	2.419717	0.094283	-0.42335	0.09725	0.419060	4.636960	0.11594	0.000891
6	2.891000	2.957717	-0.066717	0.10400	-0.06881	0.333449	2.580878	-0.07567	0.000240
7	5.664000	3.787455	1.876545	0.91733	1.93553	0.263561	1.249238	2.02629	0.107597
8	4.159000	3.310998	0.848002	0.45030	0.87466	0.202774	0.344536	0.88679	0.012199
9	3.335000	3.302273	0.032727	0.44174	0.03376	0.241366	0.891578	0.03489	0.000027
10	3.078000	3.406144	-0.328144	0.54356	-0.33846	0.302700	1.956576	-0.36359	0.004570
11	3.539000	4.009581	-0.470581	1.13506	-0.48537	0.334836	2.610472	-0.53431	0.012075
12	7.327000	3.978011	3.348989	1.10411	3.45425	0.286386	1.649871	3.66914	0.416553
13	3.309000	3.513950	-0.204950	0.64923	-0.21139	0.286520	1.652324	-0.22456	0.001562
14	2.796000	3.678966	-0.882966	0.81098	-0.91072	0.376879	3.565468	-1.04014	0.057973
15	3.065000	3.846694	-0.781694	0.97539	-0.80626	0.252054	1.059878	-0.83836	0.016845
16	3.730000	3.818644	-0.088644	0.94790	-0.09143	0.277335	1.487026	-0.09654	0.000270
17	2.374000	3.008213	-0.634213	0.15350	-0.65415	0.184827	0.122524	-0.65813	0.005582
18	4.626000	3.876250	0.749750	1.00437	0.77331	0.253878	1.089335	0.80494	0.015755
19	3.950000	3.805709	0.144291	0.93522	0.14883	0.251448	1.050153	0.15470	0.000571
20	2.943000	3.422730	-0.479730	0.55982	-0.49481	0.201457	0.327539	-0.50138	0.003849
21	1.105000	1.835277	-0.730277	-0.99623	-0.75323	0.256108	1.125634	-0.78506	0.015251
22	1.186000	2.155996	-0.969996	-0.68185	-1.00048	0.227332	0.681645	-1.02643	0.020541
23	2.091000	2.886547	-0.795547	0.03424	-0.82055	0.181936	0.088684	-0.82458	0.008491
24	1.683000	1.881050	-0.198050	-0.95136	-0.20427	0.243537	0.925165	-0.21139	0.001000
25	1.117000	2.041049	-0.924049	-0.79453	-0.95309	0.225812	0.659653	-0.97705	0.018364
26	1.791000	2.750319	-0.959319	-0.09929	-0.98947	0.198177	0.285711	-1.00115	0.014851
27	2.822000	3.122087	-0.300087	0.26512	-0.30952	0.202018	0.334773	-0.31371	0.001515
28	2.748000	2.845526	-0.097527	-0.00597	-0.10059	0.174469	0.003747	-0.10079	0.000117
29	2.813000	3.619581	-0.806581	0.75277	-0.83193	0.221133	0.592917	-0.85084	0.013355
30	2.681000	1.314147	1.366853	-1.50705	1.40981	0.356716	3.093374	1.58085	0.119968
31	0.700000	0.393029	0.306971	-2.40994	0.31662	0.537144	8.240617	0.44292	0.021354
Minimo	0.700000	0.037413	-0.969996	-2.75852	-1.00048	0.174469	0.003747	-1.04014	0.000010
Maximo	7.327000	4.009581	3.348989	1.13506	3.45425	0.541897	8.404317	3.66914	0.416553
Media	2.851613	2.851613	0.000000	0.00000	0.00000	0.286565	1.935484	0.02200	0.035325
Mediana	2.796000	3.122087	-0.198050	0.26512	-0.20427	0.256108	1.125634	-0.21139	0.012199

Anexo 3. Aforo por Bulevar Benito Juárez frente a UABC, Jueves 13 de diciembre de 2007.

LUGAR: UABC				ORIENTACION: NORTE-SUR			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	1		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	321	2	4	2		329
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:30	436	1	2	3		442
A:	12:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:30	422		6			428
A:	19:45						
LUGAR: UABC				ORIENTACION: SUR-NORTE			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	1		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	379	3	4	3	1	390
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:30	477	2	9	5		493
A:	12:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:30	387	1	4	1		393
A:	19:45						

Anexo 4. Aforo por Bulevar Benito Juárez frente a UABC, Viernes 14 de diciembre de 2007.

LUGAR: UABC				ORIENTACION: NORTE-SUR			
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 1			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	376	1	3	1	1	382
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:30	444	11	5	3		463
A:	12:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:15	359	111	6	2		478
A:	19:30						
LUGAR: UABC				ORIENTACION: SUR-NORTE			
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 1			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	437	1	6	3	1	448
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:30	378	111	7	3	1	500
A:	12:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:15	437		2			439
A:	19:30						

Anexo 5. Aforo por Bulevar Benito Juárez frente a UABC, Domingo 16 de diciembre de 2007.

LUGAR: UABC				ORIENTACION: SUR-NORTE			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 1			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	195		4			199
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:15	252	11	4	2		269
A:	12:30						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:45	167	111	4			282
A:	19:00						
LUGAR: UABC				ORIENTACION: NORTE-SUR			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 1			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	144		3	3		150
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:15	142	111	3			256
A:	12:30						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:45	299	11	3			313
A:	19:00						

Anexo 6. Aforo por Calzada H. Colegio Militar, frente a COBACH, Jueves 13 de diciembre de 2007.

LUGAR: COBACH H.C.M.				ORIENTACION: SUR-NORTE			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	5		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	279	2	2	3		286
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	13:00	296	1		11		308
A:	13:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:00	236	1	3		1	241
A:	19:15						
LUGAR: COBACH H.C.M.				ORIENTACION: NORTE-SUR			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	5		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:00	224	1	2	6		233
A:	9:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	13:00	361	1	1	9		372
A:	13:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:00	298	11	2			311
A:	19:15						

Anexo 7. Aforo por Calzada H. Colegio Militar, frente a COBACH, Viernes 14 de diciembre de 2007.

LUGAR: COBACH H.C.M. ORIENTACION: SUR-NORTE
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007 TIPO: 5

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	8:15	247	11	3	5		266
A:	8:30						

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	13:15	305	1	2	3	1	312
A:	13:30						

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:00	294	1	2	1	1	299
A:	18:15						

LUGAR: COBACH H.C.M. ORIENTACION: NORTE-SUR
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007 TIPO: 5

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	8:15	190	1	1	6		198
A:	8:30						

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	13:15	372		1	4	3	380
A:	13:30						

HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:00	379	5				384
A:	18:15						

Anexo 8. Aforo por Calzada H. Colegio Militar, frente a COBACH, Domingo 16 de diciembre de 2007.

LUGAR: COBACH H.C.M.				ORIENTACION: SUR-NORTE			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	5		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	8:30	87	111	1	1		200
A:	8:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:45	162	111	3	1		277
A:	13:00						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:15	113	111	1	1		226
A:	18:30						
LUGAR: COBACH H.C.M.				ORIENTACION: NORTE-SUR			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO:	5		
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	8:30	182		1		1	184
A:	8:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:45	329	1	4	3		337
A:	13:00						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:15	180	111		1		292
A:	18:30						

Anexo 9. Aforo por Calzada Lázaro Cárdenas, frente a IMSS, Jueves 13 de diciembre de 2007.

LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: ORIENTE-PONIENTE			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 5			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	10:00	548	2	11	11	3	575
A:	10:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:00	616	3	12	7	5	643
A:	12:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	20:00	471	1	6	7	2	487
A:	20:15						
LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: PONIENTE-ORIENTE			
FECHA: JUEVES, 13 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 6			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	10:00	564	6	8	6	2	586
A:	10:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:00	604	6	10	19	1	640
A:	12:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	20:00	531	111	9	2	4	657
A:	20:15						

Anexo 10. Aforo por Calzada Lázaro Cárdenas, frente a IMSS, Viernes 14 de diciembre de 2007.

LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: ORIENTE-PONIENTE			
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 5			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	505	5	11	8	6	535
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:00	578	1	13	13	5	610
A:	12:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:45	637	11	11	5	1	665
A:	19:00						
LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: PONIENTE-ORIENTE			
FECHA: VIERNES, 14 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 6			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	530	1	13	13	3	560
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	12:00	624	4	17	11	2	658
A:	12:15						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	18:45	794	3	11	5		813
A:	19:00						

Anexo 11. Aforo por Calzada Lázaro Cárdenas, frente a IMSS, Domingo 14 de diciembre de 2007.

LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: ORIENTE-PONIENTE			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 5			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	441		14	3		458
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	11:45	532	11	8	3		554
A:	12:00						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:15	371	111	4			486
A:	19:30						
LUGAR: I.T.M. L.C.				ORIENTACION: PONIENTE-ORIENTE			
FECHA: DOMINGO, 16 DE DICIEMBRE DE 2007				TIPO: 6			
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	9:30	365	1	10	2	1	379
A:	9:45						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	23:45	498	11	10	6		525
A:	12:00						
HORA		LDGV	MC	HDDT	LDGT	LDDT	TOTAL
DE:	19:15	517	1	10			528
A:	19:30						

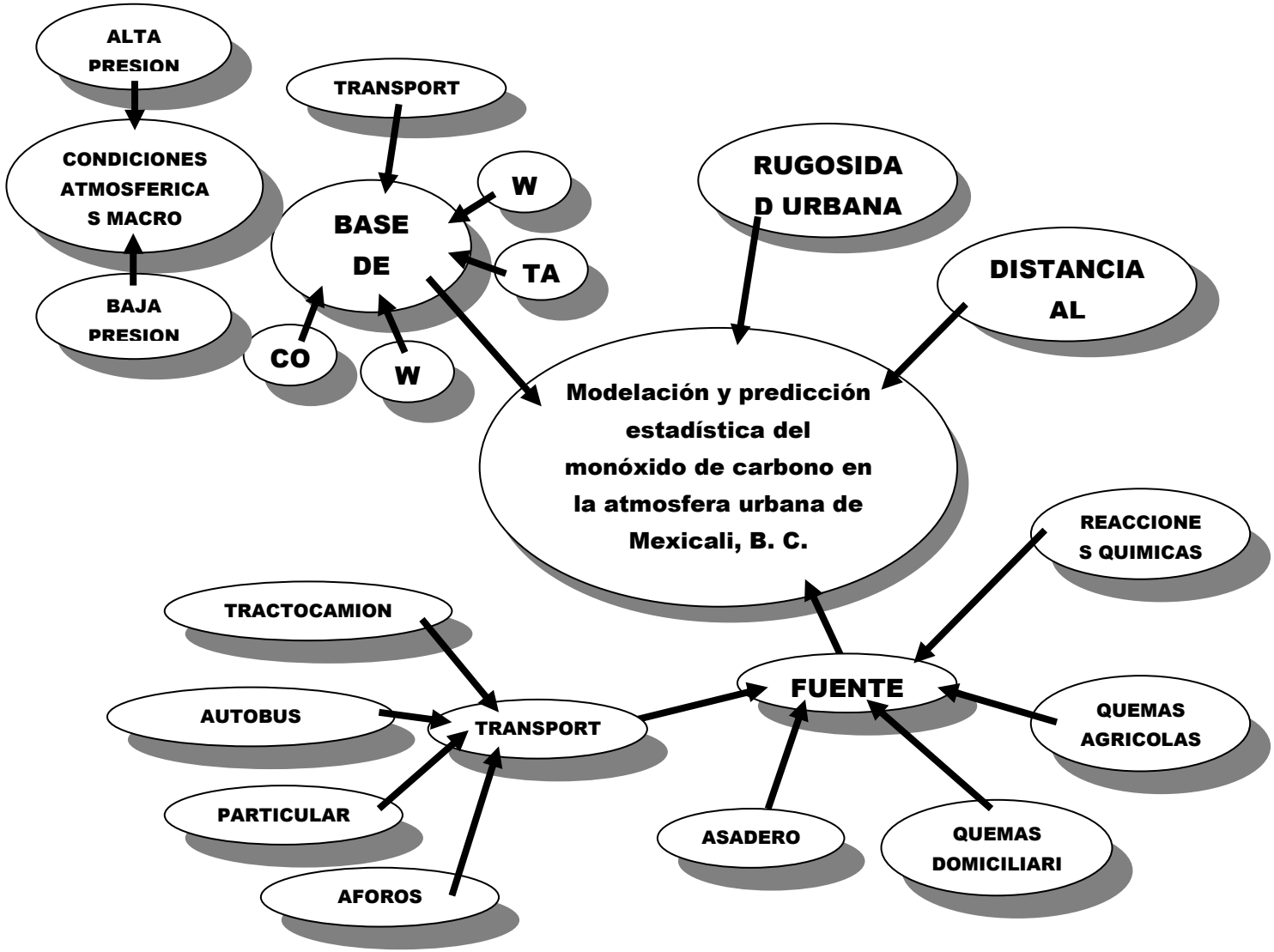
Anexo 12. Calculo de estabilidad.

CO	VV	TA	AFORO	ESTABILIDAD
1.1	2.5	22.6	2211.3124	1
0.6	2.6	26	2408.0636	1
0.4	2.8	27.9	2296.8564	1
0.3	4	29.4	2352.46	1
0.3	3.5	29.2	2472.2216	1
0.2	2.8	28.6	2793.0116	4
0.6	1.7	27.8	2870.0012	4
1.8	1.5	24.7	2750.2396	4
5.1	1.4	19.6	2801.566	4
7.4	1.4	17.5	2818.6748	6
11.6	1.6	16.1	2891.3872	6
12.7	1.5	15.1	2745.9624	6
14.9	1.4	14.2	2506.4392	6
13.7	1.3	13.4	2228.4212	6
14.5	1.1	13.2	1847.7504	6
10.7	0.6	12.3	1287.4372	6
15.1	1	11.3	812.668	6
13.7	1	10.6	302.904	6
11.9	0.6	10.5	190.3968	6
10.1	0.6	9.8	132.7008	6
9.2	0.7	9.6	86.544	6
13	1.3	9.6	69.2352	6
8.8	1.5	12.1	219.2448	6
3	1.7	17.3	804.8592	1

Anexo 13.

Casos	Predicted & Residual Values (Spreadsheet32 in UABC DICIEMBRE 246_247 DATA) Dependent variable: CO								
	Valor observado	Valor predicho	Residual	Standar del valor predicho	Standar del residual	Err. Std. Del Valor pre.	Distancia de Mahalanobis	Residual borrado	Distancia de Cook
1	1.10000	2.85157	-1.75157	-0.85085	-0.98276	0.881853	4.672264	-2.31938	0.082915
2	0.60000	0.18181	0.41819	-1.33648	0.23463	0.731692	2.917979	0.50296	0.002684
3	0.40000	-1.33472	1.73472	-1.61233	0.97330	0.718401	2.778437	2.07123	0.043882
4	0.30000	0.22467	0.07533	-1.32868	0.04227	1.151155	8.636330	0.12925	0.000439
5	0.30000	-0.58969	0.88969	-1.47681	0.49918	0.850767	4.282291	1.15222	0.019046
6	0.20000	1.40838	-1.20838	-1.11336	-0.67799	1.037822	6.840118	-1.82828	0.071356
7	0.60000	-0.35393	0.95393	-1.43393	0.53522	1.152921	8.665796	1.64029	0.070883
8	1.80000	1.91804	-0.11804	-1.02066	-0.06623	0.915724	5.113104	-0.16037	0.000427
9	5.10000	6.62680	-1.52680	-0.16414	-0.85664	0.733696	2.939245	-1.83833	0.036056
10	7.40000	10.37506	-2.97506	0.51766	-1.66922	0.672507	2.316244	-3.46894	0.107866
11	11.60000	12.31534	-0.71534	0.87060	-0.40136	0.801311	3.690714	-0.89657	0.010230
12	12.70000	12.78275	-0.08275	0.95562	-0.04643	0.790009	3.560501	-0.10298	0.000131
13	14.90000	12.99633	1.90367	0.99447	1.06809	0.739612	3.002352	2.29969	0.057338
14	13.70000	13.04971	0.65029	1.00418	0.36486	0.673351	2.324473	0.75856	0.005171
15	14.50000	12.11667	2.38333	0.83446	1.33721	0.525315	1.039692	2.61007	0.037260
16	10.70000	10.82461	-0.12461	0.59944	-0.06992	0.605743	1.698344	-0.14088	0.000144
17	15.10000	11.94416	3.15584	0.80308	1.77065	0.515008	0.962059	3.44334	0.062329
18	13.70000	11.75326	1.94674	0.76836	1.09226	0.633396	1.946443	2.22814	0.039476
19	11.90000	10.69375	1.20625	0.57563	0.67679	0.721596	2.811749	1.44274	0.021482
20	10.10000	11.26415	-1.16415	0.67939	-0.65317	0.707182	2.662638	-1.38167	0.018922
21	9.20000	11.61851	-2.41851	0.74385	-1.35695	0.691223	2.501050	-2.84667	0.076738
22	13.00000	13.03748	-0.03748	1.00196	-0.02103	0.798107	3.653619	-0.04688	0.000028
23	8.80000	11.38865	-2.58865	0.70204	-1.45242	0.838372	4.130708	-3.32416	0.153935
24	3.00000	3.60664	-0.60664	-0.71350	-0.34037	1.164131	8.853851	-1.05800	0.030066
Minimo	0.20000	-1.33472	-2.97506	-1.61233	-1.66922	0.515008	0.962059	-3.46894	0.000028
Maximo	15.10000	13.04971	3.15584	1.00418	1.77065	1.164131	8.853851	3.44334	0.153935
Media	7.52917	7.52917	0.00000	0.00000	0.00000	0.793787	3.833333	-0.04728	0.039533
Mediana	9.00000	10.75918	-0.06012	0.58754	-0.03373	0.736654	2.970798	-0.07493	0.033061

Anexo 14.


ALTA PRESION
TRANSPORT
CONDICIONES ATMOSFERICAS MACRO
BASE DE
W
TA
BAJA PRESION
CO
W
RUGOSIDAD URBANA
DISTANCIAL
Modelación y predicción estadística del monóxido de carbono en la atmosfera urbana de Mexicali, B. C.
REACCIONES QUIMICAS
TRACTOCAMION
AUTOBUS
TRANSPORT
FUENTE
QUEMAS AGRICOLAS
PARTICULAR
AFOROS
ASADERO
QUEMAS DOMICILIARI