



ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

INFORME ANUAL DE CALIDAD DE AIRE

ESTACIONES: ESCUELA REPUBLICA DE ARGENTINA & ÉXITO LA FLORA
Periodo Enero – Noviembre 2011



DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Área: Protección y Recuperación Ambiental
Grupo: Calidad del Aire

Diciembre 2011

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Vigilancia de la Calidad del aire de Cali – SVCA opera bajo la coordinación y administración del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente –DAGMA. Actualmente el SVCA funciona con tres estaciones automáticas: Estación Escuela República de Argentina ERA, Éxito – La Flora y la Unidad Móvil, los resultados de las variables contaminantes y meteorológicas del periodo Enero-Noviembre de 2011 (Enero - Septiembre) son objeto de elaboración del siguiente informe técnico sobre el estado de la calidad del aire.

1. CALIDAD DEL AIRE-PERIDO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011

1.1. ESTADO DE LA INFORMACION –PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011

En el periodo Enero-Noviembre de 2011 de 2011 las estaciones ERA & ÉXITO LA FLORA registraron información de variables contaminantes y meteorológicas.

La estación Éxito la Flora y que representa el norte de la ciudad, en el periodo Enero-Noviembre de 2011 de 2011 funciono de manera óptima y no presento anomalías extremas, presentando en términos generales solo fallas en el analizador de NOx, ya que debido a la antigüedad de las estaciones, es de esperarse que poco a poco se vayan presentando fallas con estos equipos. Hay que mencionar que en la actualidad se han calibrado correctamente los analizadores de esta estación. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean sumamente confiables ya que se siguen a cabalidad todos los protocolos establecidos en la normativa nacional ambiental que estipula el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT en la resolución 650 de 2010.

La estación Escuela República de Argentina (ERA) y que representa el centro de la ciudad, en el periodo Enero-Noviembre de 2011 de 2011 funciono de manera óptima y no presento anomalías extremas. Hay que mencionar que en la actualidad se han calibrado correctamente los analizadores de esta estación. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean sumamente confiables ya que se siguen a cabalidad todos los protocolos establecidos en la normativa nacional ambiental que estipula el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT en la resolución 650 de 2010.

Además en la estación ERA, En este periodo Enero-Noviembre de 2011 la autoridad ambiental está monitoreando Material Particulado PM2.5 con un equipo analizador secuencial suministrado por el MAVDT, en el cual se han hecho todas las pruebas correspondientes para que su funcionamiento sea correcto, siguiendo toda una cadena de custodia que permita que las mediciones de este contaminante sea el más óptimo posible. Para el correcto funcionamiento del equipo, empezó a funcionar como PM10 en los meses de marzo y abril de 2011. A partir del mes de mayo empezó a operar como PM2.5 de manera exitosa. Al equipo se le hacen periódicamente pruebas de fugas de gases.

**INFORME DE CALIDAD DEL AIRE
ENERO-NOVIEMBRE DE 2011**

Tabla 1. Datos Validos por estado de bandera. Enero-Noviembre de 2011

Estación	Monitor	Sin Dato	V	Apagado	#	Invalido	Z	RS232	C
Éxito la Flora	PM10	8.03%[644]	88.36%[7082]	0.04%[3]	0.00%[0]	3.29%[264]	0.00%[0]	0.27%[22]	0.00%[0]
	SO2	8.05%[645]	91.49%[7333]	0.09%[7]	0.37%[30]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	NOX	6.18%[495]	65.51%[5251]	6.46%[518]	0.34%[27]	21.50%[1723]	0.00%[0]	0.01%[1]	0.00%[0]
	NO	6.18%[495]	65.51%[5251]	6.46%[518]	0.34%[27]	21.50%[1723]	0.00%[0]	0.01%[1]	0.00%[0]
	NO2	6.18%[495]	65.51%[5251]	6.48%[519]	0.34%[27]	21.48%[1722]	0.00%[0]	0.01%[1]	0.00%[0]
	CO	8.05%[645]	55.41%[4441]	0.11%[9]	0.42%[34]	31.24%[2504]	0.00%[0]	4.77%[382]	0.00%[0]
	O3	6.41%[514]	60.45%[4845]	0.05%[4]	1.01%[81]	32.08%[2571]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Vel Viento	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Dir. Viento	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Temperatura	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Humedad	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Rad. Solar	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Lluvia	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Sigma Theta	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
Punto Rocío	8.05%[645]	91.92%[7367]	0.00%[0]	0.04%[3]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]	
Escuela República de Argentina	PM10	0.67%[54]	84.27%[6754]	0.01%[1]	0.00%[0]	15.02%[1204]	0.02%[2]	0.00%[0]	0.00%[0]
	SO2	0.67%[54]	86.95%[6969]	0.07%[6]	0.45%[36]	11.85%[950]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	NOX	0.67%[54]	74.96%[6008]	0.66%[53]	3.47%[278]	20.24%[1622]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	NO	0.67%[54]	77.74%[6231]	0.70%[56]	7.30%[585]	13.59%[1089]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	NO2	0.67%[54]	70.70%[5667]	0.74%[59]	4.27%[342]	23.62%[1893]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	CO	0.67%[54]	97.78%[7837]	0.07%[6]	0.29%[23]	1.17%[94]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.01%[1]
	Vel Viento	0.67%[54]	98.39%[7886]	0.00%[0]	0.05%[4]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.89%[71]	0.00%[0]
	Dir. Viento	0.67%[54]	97.27%[7796]	0.00%[0]	1.17%[94]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.89%[71]	0.00%[0]
	Temperatura	0.67%[54]	98.39%[7886]	0.00%[0]	0.05%[4]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.89%[71]	0.00%[0]
	Humedad	0.67%[54]	98.39%[7886]	0.00%[0]	0.05%[4]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.89%[71]	0.00%[0]
	R. Solar	0.67%[54]	87.35%[7001]	0.00%[0]	0.05%[4]	11.04%[885]	0.00%[0]	0.89%[71]	0.00%[0]
	Lluvia	0.67%[54]	98.39%[7886]	0.00%[0]	0.05%[4]	0.89%[71]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Sigma Theta	0.67%[54]	97.27%[7796]	0.00%[0]	1.17%[94]	0.89%[71]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]
	Punto Rocío	0.67%[54]	98.39%[7886]	0.00%[0]	0.05%[4]	0.89%[71]	0.00%[0]	0.00%[0]	0.00%[0]

1.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Esta sección presenta un breve análisis de los resultados generados durante el Periodo Enero-Noviembre de 2011 de 2011.

**INFORME DE CALIDAD DEL AIRE
ENERO-NOVIEMBRE DE 2011**

Tabla 2. Estadísticas descriptivas en base horaria para cada uno de los parámetros correspondientes al periodo Enero-Noviembre de 2011 de 2011.

Estación	Variable	Unidad	Mínimo	Fecha de registro del Valor Mínimo	Máximo	Fecha de registro del Valor Máximo	Promedio	Desv. Estándar
Éxito la Flora	PM10	ug/m3S	0,3	22/04/2011 4:00	227,4	12/09/2011 15:00	29,6	21,6
	SO2	ppm	0	22/05/2011 24:00	0,18869	05/11/2011 9:00	0,00774	0
	NOX	ppm	0	06/07/2011 13:00	0,2141	12/09/2011 16:00	0,02545	0
	NO	ppm	0	10/01/2011 15:00	0,16735	07/06/2011 21:00	0,01181	0
	NO2	ppm	0	05/07/2011 16:00	0,09793	12/09/2011 16:00	0,01398	0
	CO	ppm	0	17/02/2011 5:00	4,38	05/01/2011 19:00	1,27	0,7
	O3	ppm	0	18/05/2011 20:00	0,09044	10/05/2011 14:00	0,0129	0
	Vel Viento	m/s	0.0	01/01/2011 4:00	7.4	14/07/2011 19:00	0,8	0,7
	Temp	C°	16,2	18/10/2011 5:00	33,6	06/08/2011 15:00	24,5	3,1
	Humedad	%	23,4	01/09/2011 15:00	100	13/04/2011 3:00	71,6	14,9
	R. Solar	Watt/M2	0	01/01/2011 1:00	909,6	24/04/2011 12:00	152,8	217,1
	Lluvia	mm	0	01/01/2011 1:00	84,07	16/09/2011 7:00	2345,3	-
	Punto rocío	C°	9,8	01/09/2011 15:00	22,1	11/05/2011 6:00	18,6	1,1
Escuela República de Argentina	PM10	ug/m3S	0	08/02/2011 5:00	125	10/05/2011 10:00	22	19,2
	SO2	ppm	0	10/03/2011 6:00	0,08858	26/05/2011 10:00	0,00375	0
	NOX	ppm	0	15/02/2011 4:00	0,39898	30/08/2011 7:00	0,04173	0
	NO	ppm	0	01/01/2011 12:00	0,39778	16/10/2011 15:00	0,02639	0
	NO2	ppm	0	15/02/2011 4:00	0,10508	08/08/2011 9:00	0,01783	0
	CO	ppm	0	04/01/2011 4:00	4,6	11/02/2011 20:00	0,99	0,6
	Vel Viento	m/s	0.0	12/01/2011 7:00	6.3	14/09/2011 18:00	1,3	1
	Temp.	C°	16,1	18/10/2011 6:00	33,8	05/08/2011 15:00	24,2	3
	Humedad	%	23,1	01/09/2011 15:00	100	08/11/2011 9:00	69,2	14,2
	R. Solar	Watt/M2	0	01/01/2011 1:00	913,3	21/03/2011 13:00	178,8	235,6
	Lluvia	mm	0	01/01/2011 1:00	93,98	05/01/2011 4:00	3122,4	-
	Punto rocío	C°	8,8	01/09/2011 15:00	21,3	11/05/2011 5:00	17,8	1,1

La tabla 2 muestra los resultados de las estadísticas descriptivas generales de los datos horarios de los contaminantes y variables meteorológicas en las tres estaciones que están en funcionamiento.

En general se encontró que los valores máximos en lo que respecta al periodo Enero- Noviembre de 2011 de 2011 fueron los siguientes:

Tabla 3. Valores máximo en base horaria para cada uno de los parámetros de contaminación correspondientes al Periodo Enero-Noviembre de 2011 en la estación ERA.

Estación	Parámetro	Valor	Unidad	Fecha de registro del Valor Máximo
Éxito la Flora	PM10	227,4	ug/m3	12/09/2011 15:00
	SO2	0,18869	ppm	05/11/2011 9:00
	NO2	0,09793	ppm	12/09/2011 16:00
	CO	4,38	ppm	05/01/2011 19:00
	O3	0,09044	ppm	10/05/2011 14:00
Escuela República de Argentina	PM10	125	ug/m3	10/05/2011 10:00
	SO2	0,08858	ppm	26/05/2011 10:00
	NO2	0,10508	ppm	08/08/2011 9:00
	CO	4,6	ppm	11/02/2011 20:00

Según lo encontrado en la tabla 3, hay que destacar que el día 12 septiembre de 2011 a las 4pm se registró la concentración más alta de Material Particulado (PM10) en el norte de la ciudad con un valor de 227,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo una concentración significativamente alta, pero estando aún muy por debajo de ser un estado excepcional de concentración (por debajo de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – Nivel de Prevención)¹.

Además hay que destacar que el día Mayo 10 de 2011 a las 2pm se registró la concentración más alta de Ozono Troposférico (O3) en el norte de la ciudad con un valor de 0.09 ppm, siendo una concentración significativamente alta, pero estando aún muy por debajo de ser un estado excepcional de concentración (por debajo de 0,178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Nivel de Prevención)².

Además se encontró que el día Mayo 10 de 2011 a las 10am se registró la concentración más alta de Material Particulado (PM10) en el centro de la ciudad con un valor de 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo una concentración significativamente alta, pero estando aún muy por debajo de ser un estado excepcional de concentración (por debajo de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Nivel de Prevención)³.

En los demás contaminantes sus registros máximos fueron significativamente bajos y se podría aseverar que la mayor problemática está enfocada en el monitoreo y seguimiento al Material Particulado y el Ozono Troposférico, sin embargo se considera de suma importancia seguir monitoreando todos los contaminantes para poder hacerle un seguimiento a la contaminación atmosférica en Cali.

2. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONTAMINANTES EN LA ZONA CENTRO Y LA ZONA NORTE DE CALI. ESTACIONES ERA & ÉXITO LA FLORA. PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011

A continuación se mostraran algunos resultados del comportamiento de los diferentes contaminantes en las 3 estaciones de monitoreo que registraron información en el Periodo Enero-Noviembre de 2011, además de la comparación de la normativa estipulada en la resolución 610 de marzo de 2010 del MAVDT en el tema calidad del aire.

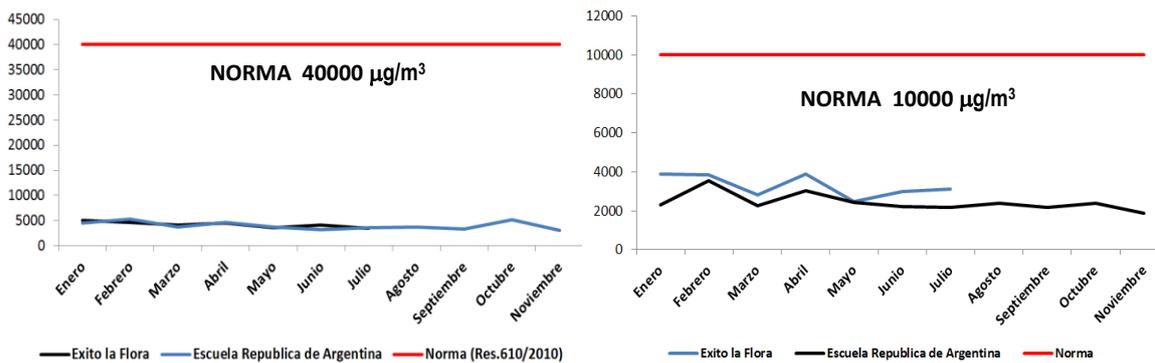
2.1. COMPARACION ENTRE LOS CONTAMINANTES SEGÚN LA ESTACION DE MONITOREO Y COMPARACION CON LA NORMA AMBIENTAL - ESCUELA REPUBLICA DE ARGENTINA (ERA) & ÉXITO LA FLORA

¹ Resolución 610 de 2010 del MAVDT, Hoja 7 – Tabla 4.

² Resolución 610 de 2010 del MAVDT, Hoja 7 – Tabla 4.

³ Resolución 610 de 2010 del MAVDT, Hoja 7 – Tabla 4.

**INFORME DE CALIDAD DEL AIRE
ENERO-NOVIEMBRE DE 2011**



Monóxido de carbono
Máximo Mensual, Promedio - 1 hora.
Estaciones ERA & Éxito la Flora

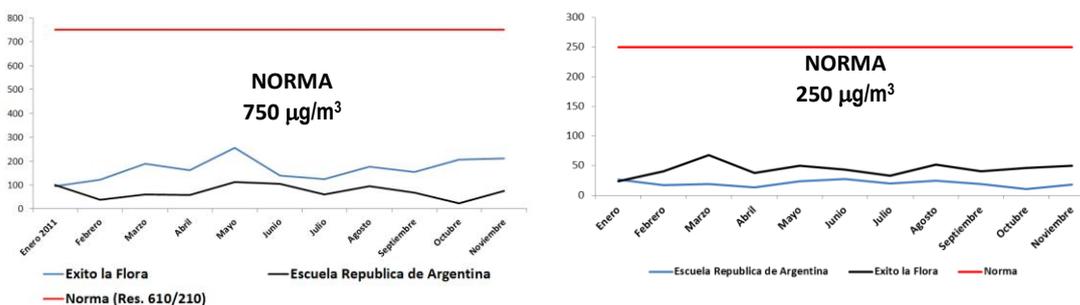
Monóxido de carbono
Máximo Mensual, Promedio móvil - 8 horas.
Estaciones ERA & Éxito la Flora

Grafico 1. Diagrama de cajas y alambres del Monóxido de Carbono – Comparativo norma: promedio 1 hora y 8 horas. Estaciones ERA & Éxito la Flora.

CO Promedio 1 hora: En el caso del monóxido de carbono en la normativa de los promedios con base 1 hora, se observó que en ninguna de las 2 estaciones se sobrepase la norma de 40000 µg/m³

CO Promedio 8 horas: Para el caso del monóxido de carbono en la normativa de los promedios octonarios, se observó que en ninguna de las 2 estaciones tampoco se sobrepasa la norma de 10000 µg/m³

En términos generales se observa que para el monóxido de carbono se encontró muy por debajo de la normativa ambiental.



Dióxido de azufre
Máximo Diario, promedio móvil - 3 horas
Estaciones ERA & Éxito la Flora

Dióxido de azufre
Promedio Diario - 24 horas
Estaciones ERA & Éxito la Flora

Grafico 2. Diagrama de cajas y alambres de los contaminantes – comportamiento del dióxido de azufre en las estaciones de monitoreo ERA y Éxito la Flora.

SO₂ promedio 3 horas: En el caso del dióxido de azufre en las estaciones ERA y Éxito la flora no se sobrepasa la normativa de alarma de contaminación de 750 µg/m³. Se encontraron valores muy bajos de este contaminante.

SO₂ promedio 24 horas: En el caso del dióxido de azufre en las estaciones ERA y Éxito la flora no se sobrepasa la normativa de alarma de contaminación de 250 µg/m³. Se encontraron valores muy bajos de este contaminante.

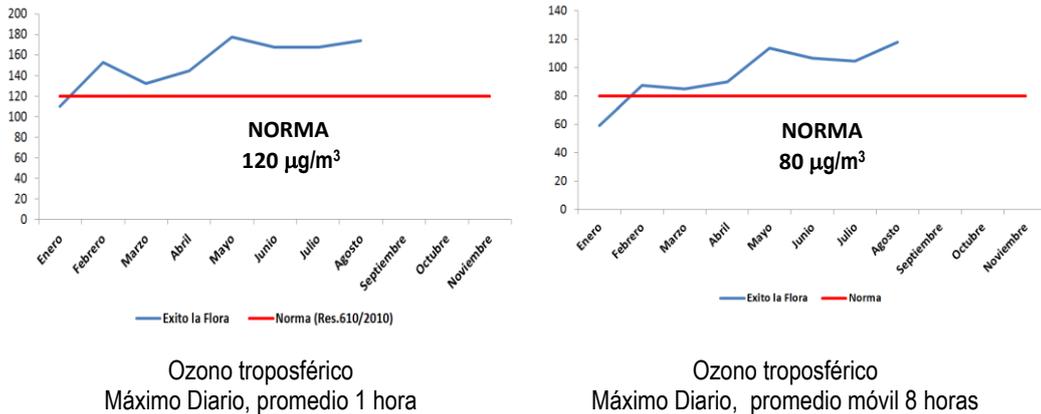


Grafico 3. Comportamiento del ozono troposférico en la estación de monitoreo éxito la flora

O3 promedio 1 hora: en el caso del ozono troposférico se observó que en la zona norte de Cali se sobrepasan la normativa ambiental de 120 µg/m³

En la estación Éxito la Flora se encontraron 41 excedencias horarias a la normativa ambiental, lo cual representa el 0.94%, siendo este porcentaje de excedencias muy bajo. En 24 de los 181 días que se lleva del periodo Enero-Noviembre de 2011, se presentaron excedencias a la normativa, siendo enero y febrero los meses con menor número de excedencias.

O3 promedio 8 horas: en el caso del ozono troposférico se observó que en la zona norte de Cali en el periodo Enero-Noviembre de 2011 se sobrepasan la normativa ambiental de 80 µg/m³.

En la estación Éxito la Flora se encontraron 47 excedencias horarias a la normativa ambiental, lo cual representa el 1.08%, siendo este porcentaje de excedencias muy bajo. En 13 de los 181 días que se lleva del periodo Enero-Noviembre de 2011, se presentaron excedencias a la normativa, siendo enero febrero y abril, los meses con menor número de excedencias.

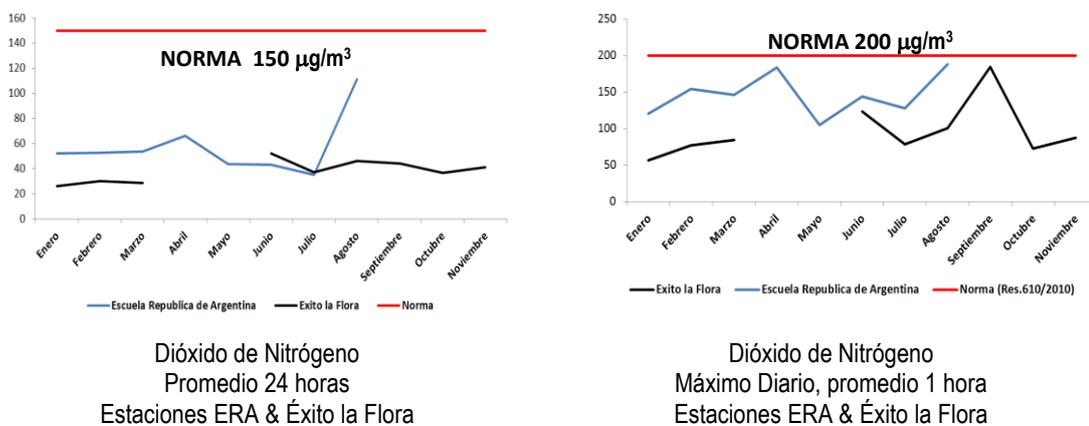


Grafico 4. Comportamiento del dióxido de nitrógeno en las estaciones ERA & Éxito la Flora

NO₂ promedio 1 hora: se observo que el Dióxido de Nitrógeno no sobrepaso la norma de 200 µg/m³ a lo largo del año en las estaciones ERA y Éxito

NO₂ promedio 24 horas: se observó que el Dióxido de Nitrógeno no sobrepaso la norma de 150 µg/m³ a lo largo del año en las estaciones ERA y Éxito

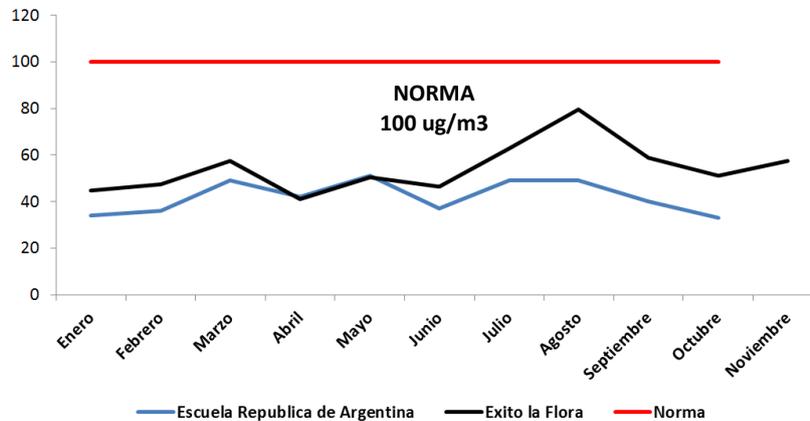
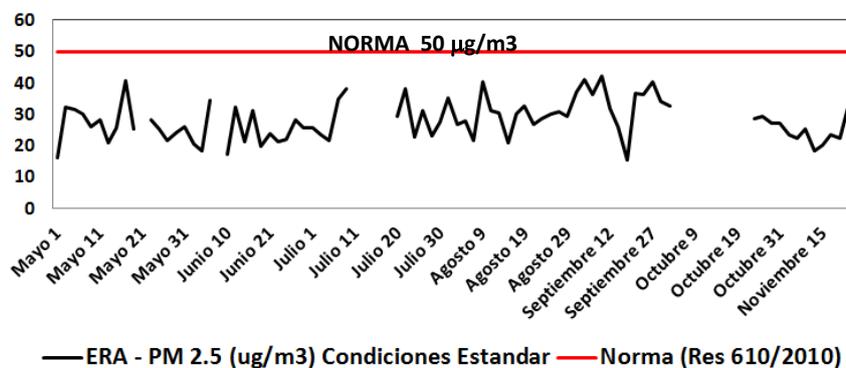


Grafico 5. PM10 Estaciones ERA & Éxito la Flora – promedio 24 horas

PM10 promedio 24 horas: Para el caso del material particulado se observo que en ninguna de las 2 estaciones se sobrepasó la norma de 100 µg/m³, sin embargo en el norte de la ciudad de Cali (estación ERA) se registraron los niveles más altos de PM₁₀.



Mayo - Septiembre 2011

Grafico 6. Comportamiento del PM2.5 – Estación ERA – 24 horas

PM2.5 - 24 horas: Para el caso del material particulado se observó que en el centro de Cali (Estación ERA) no se sobrepasó la norma de 50 µg/m³ y su comportamiento en el periodo que se lleva monitoreando, no se ha registrado comportamientos atípicos.

2.2. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EN LA ZONA CENTRO DE CALI. ESTACIÓN ESCUELA REPUBLICA DE ARGENTINA (ERA)

A continuación se hará un análisis más extendido del comportamiento de los contaminantes según algunas características:

2.2.1.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL DÍA DE LA SEMANA (PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011 DE 2011)

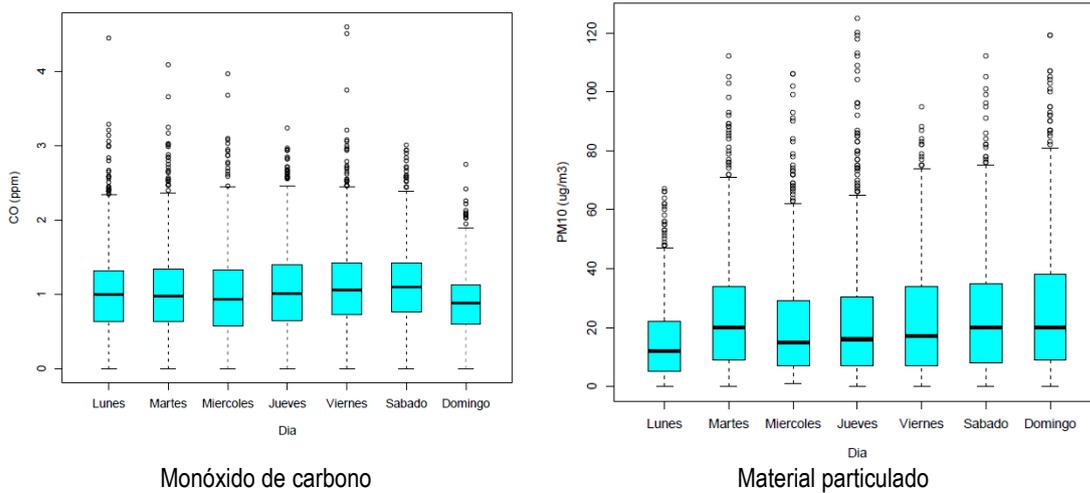


Gráfico 7. Diagrama de cajas y alambres según el día de la semana. Datos horarios

Observando el gráfico 7 se encontró lo siguiente:

Para el caso del CO: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del Monóxido de carbono en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta en Mayores proporciones en los días Viernes, Los niveles de Monóxido de carbono están relacionados directamente con la actividad vehicular. Los días domingos del mes registraron los valores más bajos de monóxido de carbono y esto se debe a la disminución del flujo de vehicular típico en este día.

Para el caso del PM10: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del material particulado en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta en Mayores proporciones en los días Sábados, y curiosamente los menores niveles se registraron los días lunes. Los niveles de Material Particulado están relacionados directamente con la actividad vehicular recurrente y afecta notoriamente la respiración de población humana considerada como vulnerable

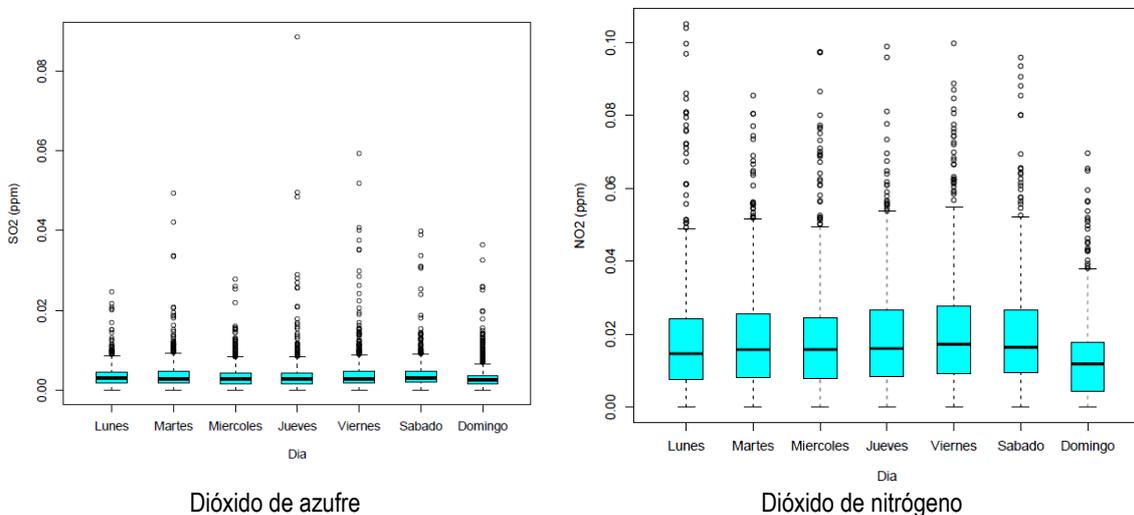


Gráfico 8. Diagrama de cajas y alambres del SO₂ y NO₂ según el día de la semana. Datos horarios

Para el caso del SO₂: El grafico 8 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Azufre en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se presenta aparentemente similar al comparar los días de la semana, sin embargo los valores atípicos más notorios se presentaron los días Jueves y viernes. El Dióxido de Azufre está relacionado con la actividad de uso de combustibles fósiles y combustión de minerales.

Para el caso del NO₂: El grafico 8 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Nitrógeno (ppm) en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se presenta aparentemente similar al comparar los días de la semana, sin embargo se encontró que en los domingos es donde se registran las menores concentraciones de este contaminante.

2.2.2.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN LA HORA DEL DÍA (PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011)

Es de gran interés indagar sobre el comportamiento de los contaminantes según la hora del día, ya que este tipo de comportamientos determinan tendencias en determinadas horas del día que permiten identificar las causas de dichos comportamientos.

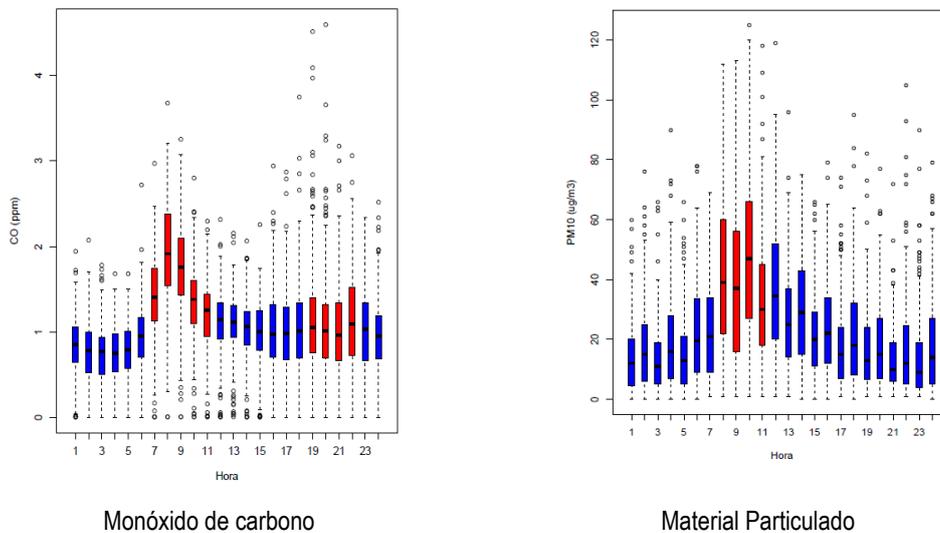
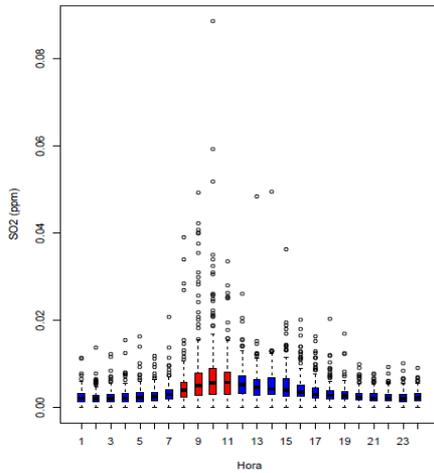


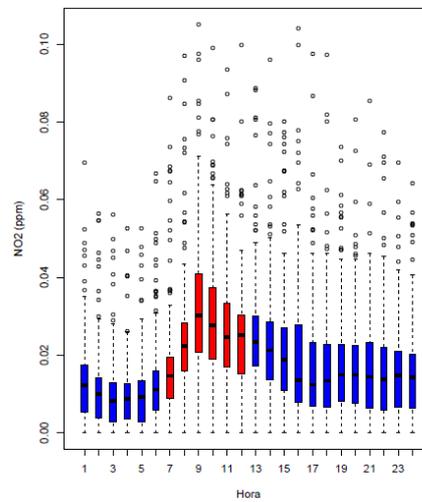
Grafico 9. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del CO y del PM₁₀ según la hora del día. Datos horarios

Para el caso del CO: El grafico 9 muestra que en las horas pico de la mañana (entre las 7 y las 10 am) se registró un incremento de CO (valores de CO entre 1 y 3 ppm aproximadamente) en el área de influencia de la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), y esto probablemente se debe al alto tráfico vehicular que se registra en las vías cercanas como la calle 25, la cual sin duda es una de las vías más transitadas de la ciudad, además de la parte industrial que se encuentra ubicada en la comuna 9.

Para el caso del PM₁₀: El grafico 9 muestra el comportamiento horario del Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) según las horas del día, se observa un aumento en los niveles de concentración de este contaminante entre las 6 y las 10 de la mañana en la estación ERA.



Dióxido de azufre



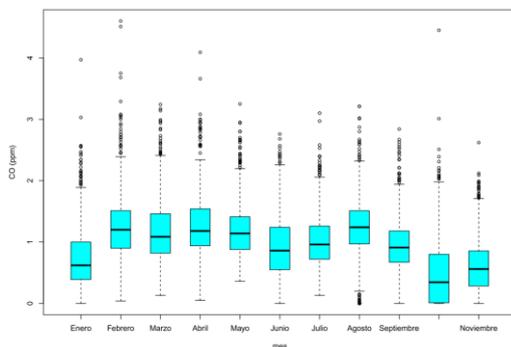
Dióxido de nitrógeno

Grafico 10. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del SO₂ y el NO₂ según la hora del día. Datos horarios.

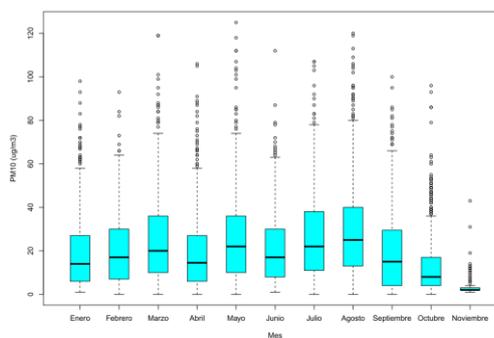
Para el caso del SO₂: El grafico 10 muestra el comportamiento horario del Dióxido de Azufre según las horas del día, se observa un aumento en estos niveles de este contaminante entre las 6 y las 10 de la mañana en la estación ERA. Aunque visualmente la diferencia según la hora del día no se nota tanto.

Para el caso del NO₂: El grafico 10 muestra el comportamiento horario del Dióxido de Nitrógeno según las horas del día, se observa un aumento en estos niveles de este contaminante entre las 8 de la mañana hasta las 11 de la mañana en la estación ERA. Esto se debe muy seguramente al flujo vehicular que transita frecuentemente por esta zona de la ciudad de Santiago de Cali.

2.2.3.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL MES. (PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011)



Monóxido de carbono



Material particulado

Grafico 11. Diagrama de cajas y alambres según el mes. Datos horarios

Observando el grafico 11 se encontró lo siguiente:

Para el caso del CO: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del Monóxido de carbono en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta en Mayores proporciones en meses de abril y mayo. Los niveles de Monóxido de carbono están relacionados directamente con la actividad vehicular. Los meses de octubre y noviembre registraron los valores más bajos de monóxido de carbono.

Para el caso del PM10: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del material particulado en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta en Mayores proporciones en los días Sábados, Los niveles de Material Particulado están relacionados directamente con la actividad vehicular recurrente y afecta notoriamente la respiración de población humana considerada como vulnerable

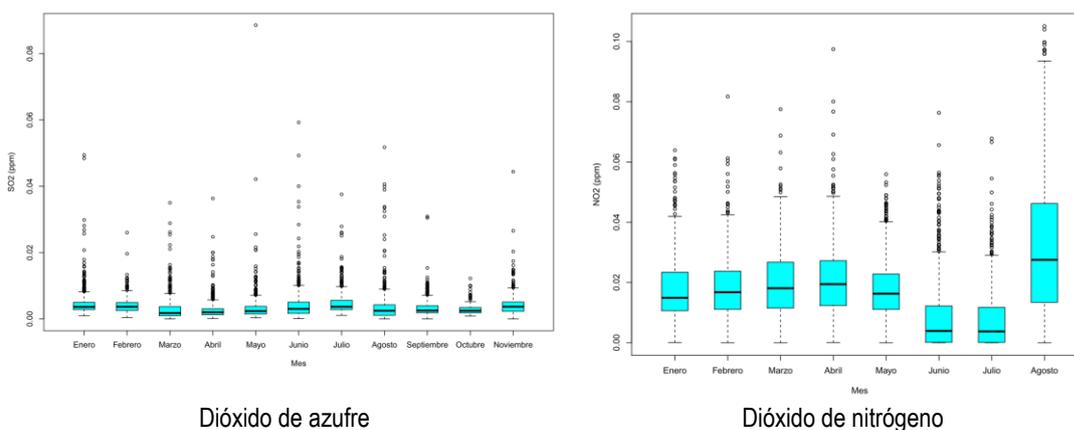


Gráfico 12. Diagrama de cajas y alambres del SO2 y NO2 según el día de la semana. Datos horarios

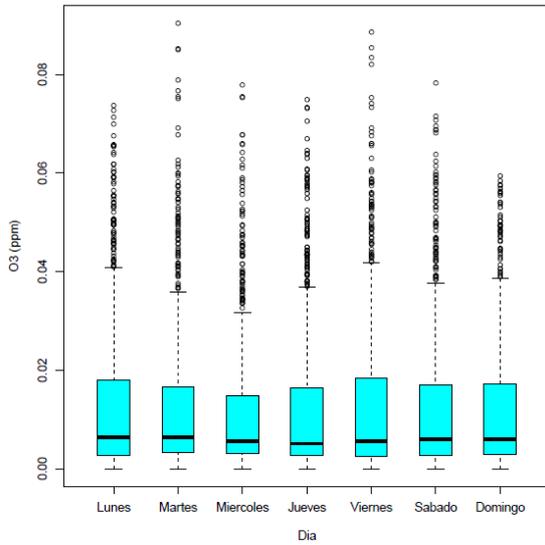
Para el caso del SO2: El grafico 12 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Azufre en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se presenta aparentemente similar al comparar cada uno de los meses del año, sin embargo los valores atípicos más notorios se presentaron en mayo y junio. El Dióxido de Azufre está relacionado con la actividad de uso de combustibles fósiles y combustión de minerales. (Fuentes fijas)

Para el caso del NO2: El grafico 12 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Nitrógeno en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se observa un incremento en el mes de agosto, sin embargo este comportamiento se pudo haber presentado debido a fallas en el analizador durante el análisis, ya que al mes siguiente el equipo presento una falla.

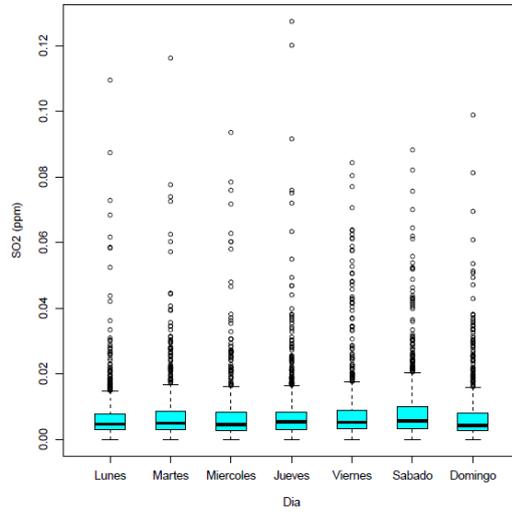
2.3. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EN LA ZONA NORTE DE CALI. ESTACION ÉXITO LA FLORA.

En este apartado se hará un análisis estadístico al comportamiento de los contaminantes en la estación fija ubicada en el éxito la flora.

2.3.1.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL DÍA DE LA SEMANA (PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011)



Ozono Troposférico

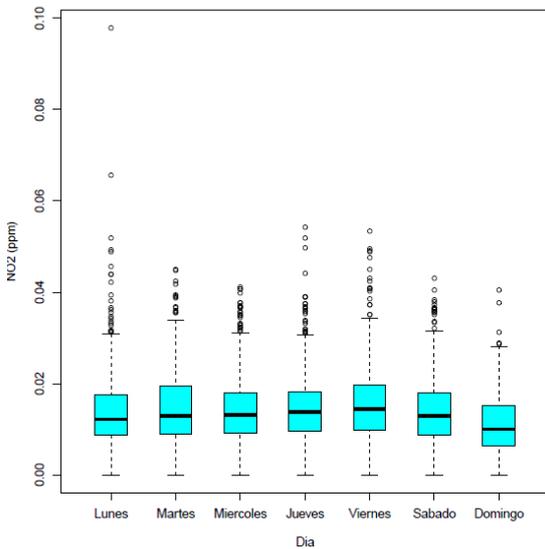


Dióxido de Azufre

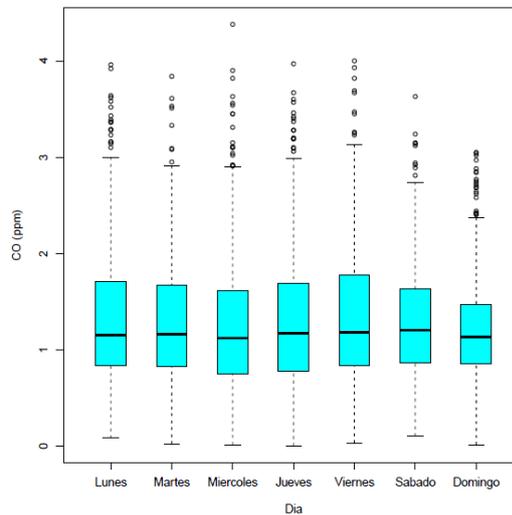
Grafico 13. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del O₃ y el CO según el día de la semana. Datos horarios

Para el caso del O₃: El comportamiento del Ozono Troposférico se presenta de manera similar en los días de la semana.

Para el caso del SO₂: se encontró que los niveles de este contaminante son muy similares según el día de la semana tal y como lo muestra la gráfica 11.



Dióxido de Nitrógeno



Monóxido de carbono

Grafico 14. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del NO₂ y del CO según el día de la semana. Datos horarios.

Para el caso del NO₂: El comportamiento del Dióxido de Nitrógeno se presenta de manera similar en los días de la semana. Solo se observó una disminución en los días domingos.

Para el caso del CO: se encontró que los niveles de este contaminante son muy similares según el día de la semana.

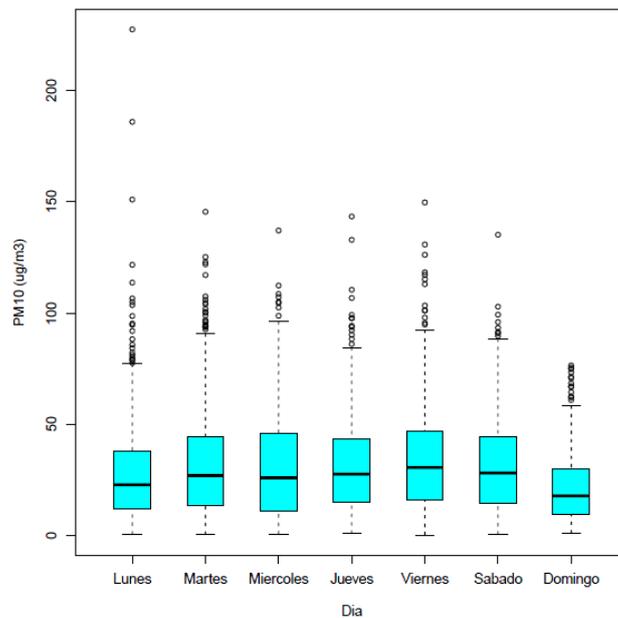


Grafico 15. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del PM₁₀ según el día de la semana. Datos horarios

En el caso del Material Particulado a menos de 10 micras: En el norte de la ciudad (Éxito la Flora) se observó que los días viernes y sábado se presentaron los niveles más altos. Los días domingo fueron los de menores niveles de concentraciones de PM₁₀.

2.3.2.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN LA HORA DEL DÍA (PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011)

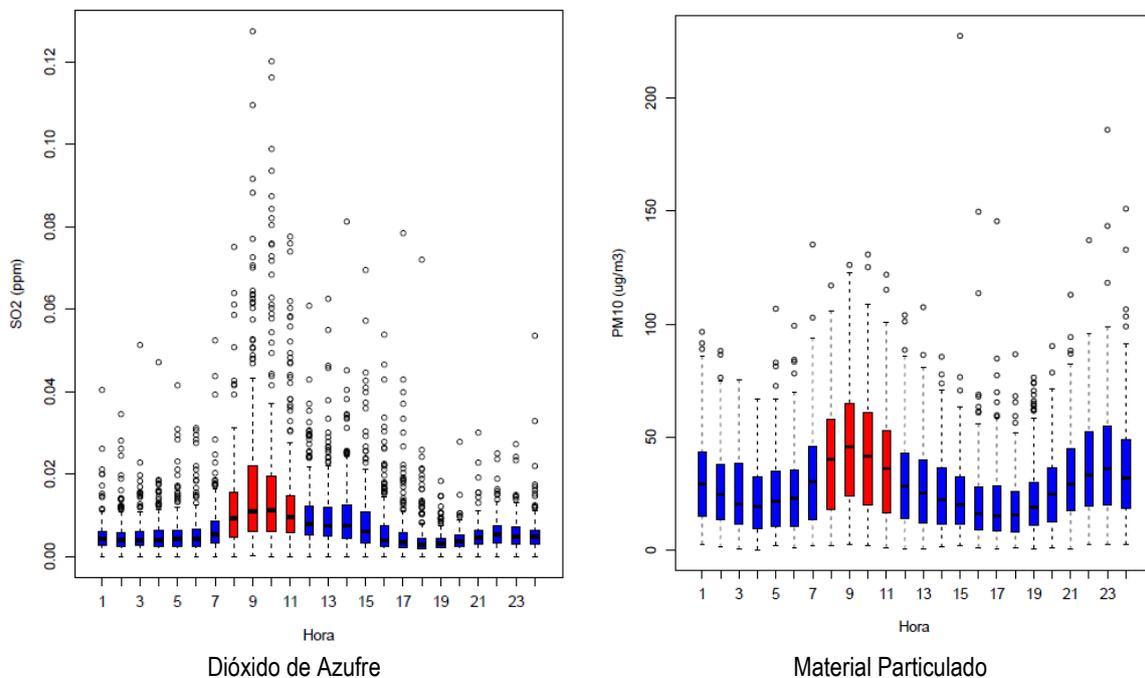


Grafico 16. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del PM₁₀ y del SO₂ según la hora del día. Datos horarios

Para el caso del SO₂: Los niveles más altos se encontraron entre las 6 y las 10 am, además se incrementa en horas de la noche. Esto probablemente debido al alto flujo vehicular que se registra en la zona norte de Cali

Para el caso del PM₁₀: Los niveles más altos se presentaron entre las 7 y las 10 de la mañana, disminuye considerablemente en horas de la tarde y vuelve a incrementar un poco en horas de la noche.

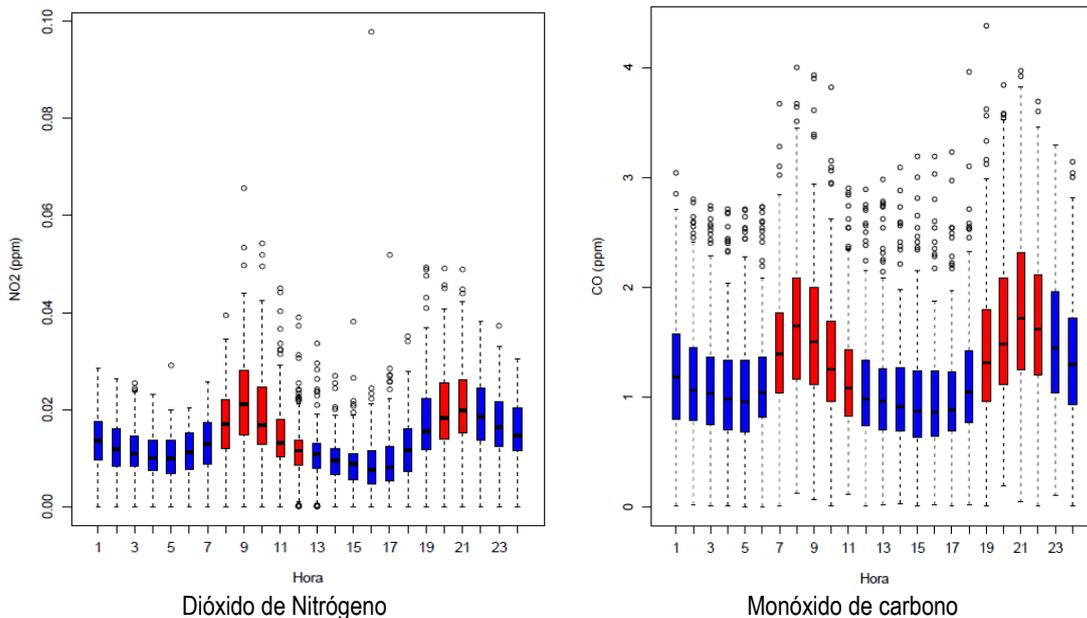


Gráfico 17. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del PM₁₀ y del SO₂ según la hora del día. Datos horarios

Para el caso del NO₂: El gráfico 17 muestra que los niveles más altos se encontraron entre las 6 y las 10 am, además se incrementa en horas de la noche. Esto probablemente debido al alto flujo vehicular que se registra en la zona norte de Cali

Para el caso del CO: El gráfico 17 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Azufre (ppm) Los niveles más altos se encontraron entre las 6 y las 10 am, además se incrementa en horas de la noche. Esto probablemente debido al alto flujo vehicular que se registra en la zona norte de Cali. El Dióxido de Azufre está relacionado con la actividad de uso de combustibles fósiles y combustión de minerales.

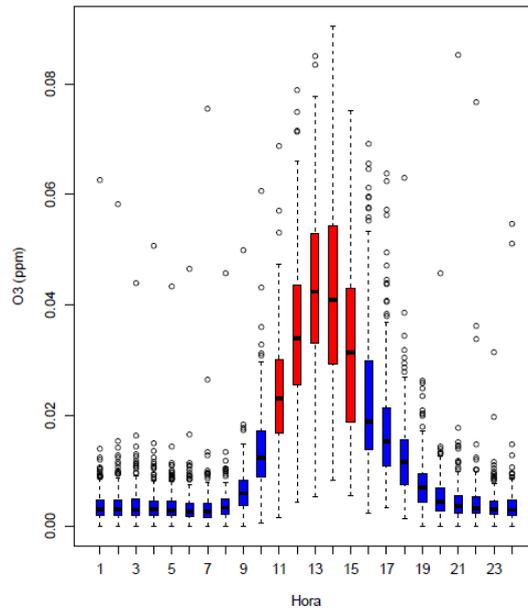


Grafico 18. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del O₃ según la hora del día.

Para el caso del O₃: El comportamiento del ozono según la hora del día muestra sus niveles más altos entre las 11 y las 4 de la tarde, este fenómeno se debe a que el ozono está relacionado directamente con las emisiones de NO_x y la radiación solar.

El ozono troposférico se forma por la formación de radicales que involucran NO_x y radiación solar.

Es claro que existe una relación directa entre la radiación solar y el ozono, lo que se debería de hacer en este caso es realizar un análisis estadístico para determinar la relación existente entre estas dos variables.

A continuación se muestra el siguiente aparte:

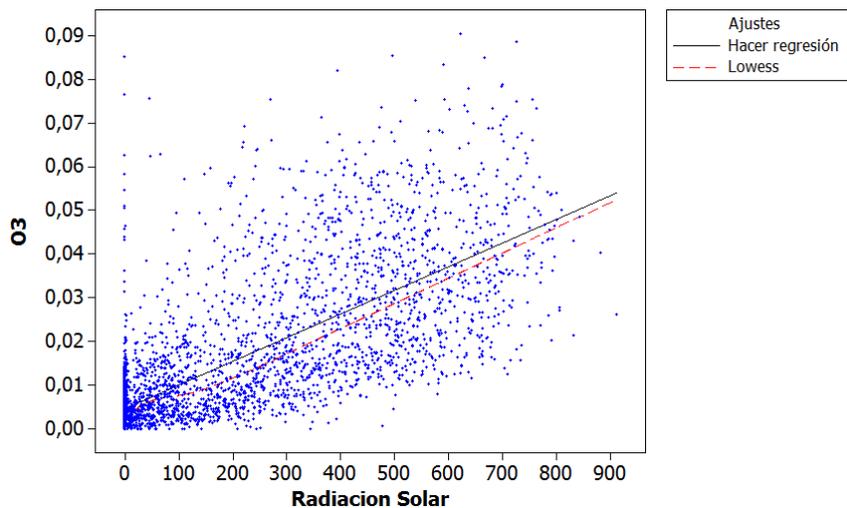


Grafico 19. Dispersión del Ozono Vs. Radiación Solar – Éxito la Flora

Se observo en el grafico 19 que a medida que aumenta la radiación solar, aumenta los niveles de ozono troposférico, encontrándose una relación con un comportamiento un poco lineal encontrando el siguiente modelo de regresión lineal simple:

$$\text{Ozono} = 0,0046612 + 0,00005425 \text{Radiación Solar}$$

	B	Error típ.	t	p-valor
(Constante)	0,0046612	.000	26,13	.000
RADIACION SOLAR	0,00005425	.000	80,29	.000

Variable dependiente: OZONO (O3)

Tabla 4. Estimación de los parámetros en el modelo de regresión.

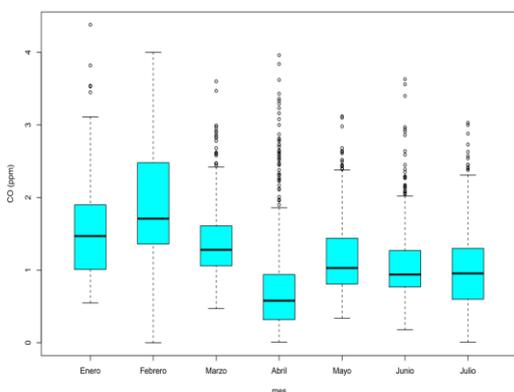
R cuadrado	R cuadrado corregida
0.571	0.571

Variables predictoras: (Constante), RADIACION SOLAR

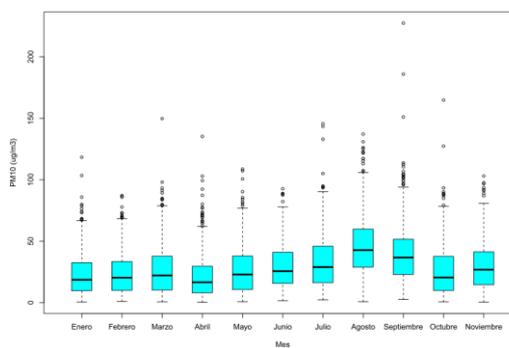
Tabla 5. R cuadrado y R cuadrado ajustado.

Donde el R- cuadrado⁴ de la ecuación fue de 0.568 considerándose como alta y afirmando la correlación existente entre el Ozono y la Radiación Solar en el norte de la ciudad de Cali. Esta hipótesis contrasta que a medida que hay un incremento en los niveles de la radiación solar, la concentración de ozono también incrementa.

2.3.3.COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL MES. (ENERO-NOVIEMBRE DE 2011)



Monóxido de carbono



Material particulado

Grafico 20. Diagrama de cajas y alambres según el mes. Datos horarios

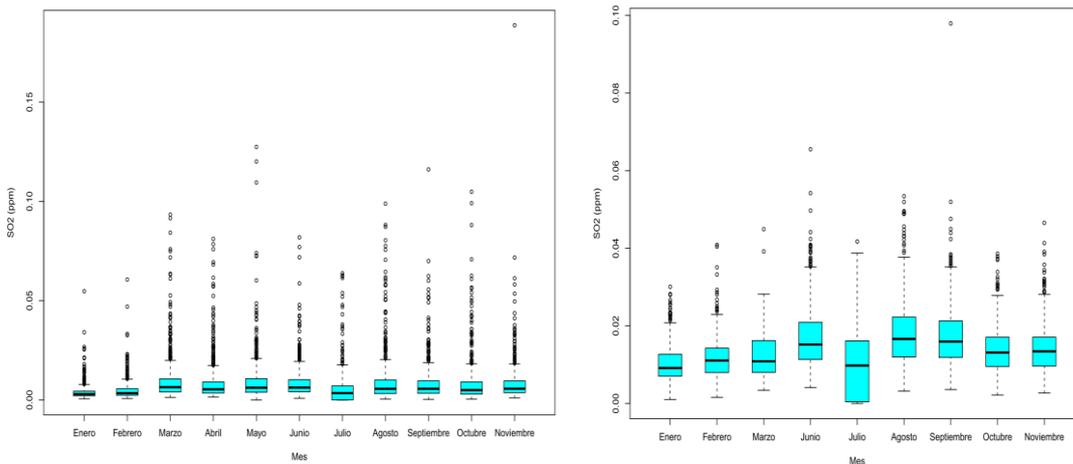
Observando el grafico 20 se encontró lo siguiente:

Para el caso del CO: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del Monóxido de carbono en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta en Mayores proporciones en los meses de enero y febrero, y el mes donde se presentó más menores concentraciones de monóxido fue abril. Los niveles de

⁴ Valores de R cuadrado cercanos a 1 o a -1 se consideran correlaciones altas entre las variables

Monóxido de carbono están relacionados directamente con la actividad vehicular. Los días domingos del mes registraron los valores más bajos de monóxido de carbono y esto se debe a la disminución del flujo de vehicular típico en este día.

Para el caso del PM10: Para el Periodo Enero-Noviembre de 2011, el comportamiento del promedio horario del material Particulado en la zona de influencia de la Estación ERA (centro de la ciudad de Cali), se presenta muy similar en el transcurso del año, sin embargo en el mes de agosto se incrementó levemente estos niveles de contaminación, Los niveles de Material Particulado están relacionados directamente con la actividad vehicular recurrente y afecta notoriamente la respiración de población humana considerada como vulnerable



Dióxido de azufre

Dióxido de nitrógeno

Grafico 21. Diagrama de cajas y alambres del SO2 y NO2 según el día de la semana. Datos horarios

Para el caso del SO2: El grafico 21 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Azufre en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se presenta aparentemente similar al comparar todos los meses del año. El Dióxido de Azufre está relacionado con la actividad de uso de combustibles fósiles y combustión de minerales.

Para el caso del NO2: El grafico 21 mostro que para el Periodo Enero-Noviembre de 2011 el comportamiento del promedio horario del Dióxido de Nitrógeno en la Estación ERA (zona centro de la ciudad de Cali), se presenta aparentemente similar al comparar los días de la semana, sin embargo en el mes de julio se registraron las concentraciones más bajas de este contaminante.

3. INDICE DE CALIDAD DE AIRE EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES ERA, ÉXITO LA FLORA Y UM. PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011 PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011

El Sistema de Vigilancia de la Calidad de aire de Santiago de Cali en el Periodo Enero-Noviembre de 2011 calculo el índice de calidad de aire (ICA), tomando como referencia el establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S - EPA) y que

actualmente es implementado en Colombia adaptándolo a la normativa nacional. Este índice representa una de las herramientas más sencillas para determinar el estado en el que se encuentra la calidad del aire de las zonas de influencias de las estaciones que actualmente reportan datos en la ciudad.

3.1. CONTAMINANTES QUE COMPONEN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Los contaminantes que se tendrán en cuenta en la elaboración del índice de calidad del aire son los conocidos como los contaminantes “criterio”, los cuales son los que generan Mayor impacto en la salud de las personas, estos contaminantes son: PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ y CO.

3.2. RANGOS DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Basándose en el indicador de calidad de aire implementado por la U.S- EPA y adaptado a la ciudad de Cali, la siguiente tabla muestra los rangos en donde se encuentran cada uno de los parámetros de contaminación y la clasificación según lo planteado por la U.S- EPA.

PM10 (µg/m3) 24 Horas	CO (ppm) 8 Horas	SO ₂ (ppm) 24 Horas	NO ₂ (ppm) 1Hora	O ₃ (ppm) 8 Horas	RANGO ICA	Categoría
0-54	0-4,4	0-34	(*)	0.0-0.059	0-50	Buena. 0-50
55-154	4.5-9,4	35-144	(*)	0.06-0.075	51-100	Moderada 51-100
155-254	9,5-12,4	145-224	(*)	0.076-0.095	101-150	Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150
255-354	12,5-15,4	225-304	(*)	0.096-0.115	151-200	Dañina a la salud 151-200
355-424	15,5-30,4	305-604	650-1.240	0.116-0.374	201-300	Muy Dañina a la salud 201-300

Tabla 6. Índice de Calidad del Aire de la EPA

(*) NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.

3.3. CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE PARA EN EL CENTRO DE LA CIUDAD Y EN EL VIVERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE CALI

El ICA será calculado a partir de la metodología utilizada por la US- EPA.

Una vez calculado el índice de calidad del aire, se tendrá que ver como es el efecto en la salud humana y las consecuencias a la población de la ciudad. Es por esto que a continuación se muestra una tabla donde especifica cuales son los efectos generados por cada contaminante. Ver tabla 7

3.4. EFECTOS A LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Categoría	Efecto general
Buena 0-50	La calidad del aire se considera satisfactoria, y la contaminación atmosférica plantea poco o nada de riesgo
Moderada 51-100	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo para algunos agentes contaminadores puede haber una preocupación moderada de la salud para un número muy pequeño de la población. Por ejemplo, las personas que son inusualmente sensibles al ozono pueden experimentar síntomas de afección respiratorias.
Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. Esto significa que es muy probable que sean afectados por niveles más bajos de contaminación. Por ejemplo, la población con enfermedades del pulmón está en Mayor riesgo si se expone al ozono, mientras que las personas con enfermedades del pulmón o con enfermedades cardíacas están en Mayor riesgo cuando son expuestas a la contaminación de partículas. Este nivel de AQI no presenta afecciones para el público en general.
Dañina a la salud 151-200	Personas pueden comenzar a experimentar efectos en la salud. Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más serios.
Muy Dañina a la salud 201-300	En este nivel se debe usar una alarma para prevenir efectos en salud de toda la población, pues todos pueden presentar problemas más serios.

Tabla 7. Categoría de Calidad para el AQI y sus Efectos en la Salud

Una vez explicada esta parte, se procede a mostrar a continuación como fue el estado de la calidad del aire según el Periodo Enero-Noviembre de 2011 del presente año.

3.5. RESULTADOS DEL CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE PARA EL PERIODO ENERO-NOVIEMBRE DE 2011 – ESTACIÓN ERA & ÉXITO LA FLORA

Al hacer uso del ICA para determinar el estado de la calidad del aire en la zona centro de la ciudad de Cali se tendrá en cuenta la elaboración de los indicadores de forma diaria y ver cuál ha sido su comportamiento en todo el mes tal y como se observa en el grafico 22

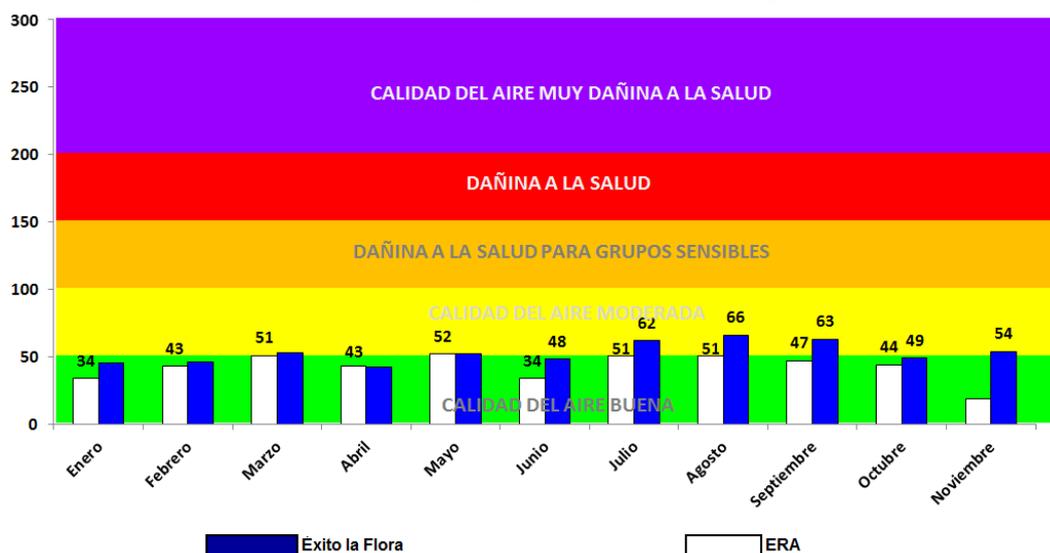


Gráfico 22. Comportamiento máximo mensual del índice de calidad del aire para la zona centro y la zona norte de la ciudad de Cali – Estación ERA & Éxito la Flora

**INFORME DE CALIDAD DEL AIRE
ENERO-NOVIEMBRE DE 2011**

Mes	Escuela República de Argentina			Éxito la Flora		
	máximo	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio
Enero	34	14	22,3	45	6	25,6
Febrero	43	16	24,5	46	9	27,5
Marzo	51	14	29,2	53	8	29,6
Abril	43	12	25,3	42	9	25,7
Mayo	52	19	29,8	52	4	28,2
Junio	34	8	22,7	48	19	32,5
Julio	51	16	29,6	62	20	36,6
Agosto	51	21	36,0	66	29	47,7
Septiembre	47	10	24,9	63	22	41,6
Octubre	44	5	17,8	49	8	29,3
Noviembre	19	2	11,2	54	18	33,4
	máximo	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio
	52	2	24,8	66	4	32,5

Tabla 8. Estadística Descriptiva mensual del índice de calidad del aire para la zona centro y la zona norte de la ciudad de Cali – Estación ERA & Éxito la Flora

En el caso de la estación ERA (Centro de la ciudad de Cali): La Grafica 22 deja ver en la estación ERA que la curva de calidad de aire se encuentra entre 4 y 66 unidades y en términos generales la calidad del aire en este mes se considera que fue buena.

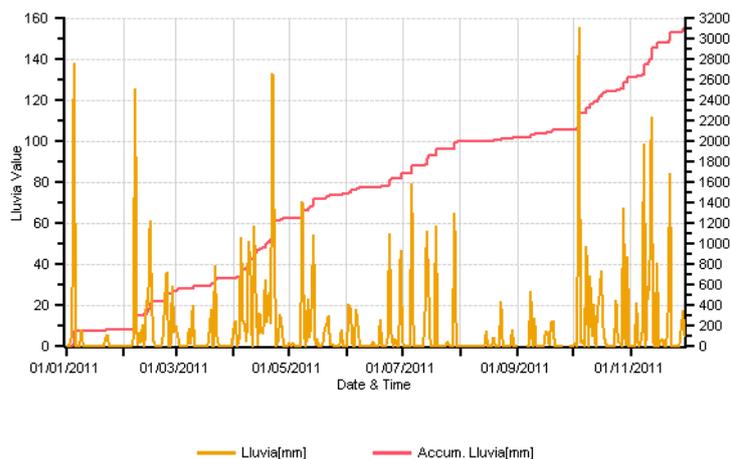
En el caso de la estación Éxito la Flora (Norte de la ciudad de Cali): La Grafica 22 deja ver que la curva de calidad de aire se encuentra entre 5 y 52 unidades y en términos generales la calidad del aire en este mes se considera que fue buena.

Haciendo un balance general entre las 2 estaciones se encontró que para la zona norte- centro de Cali, la calidad del aire es considerada según el índice como buena.

4. ANÁLISIS DE METEOROLOGÍA

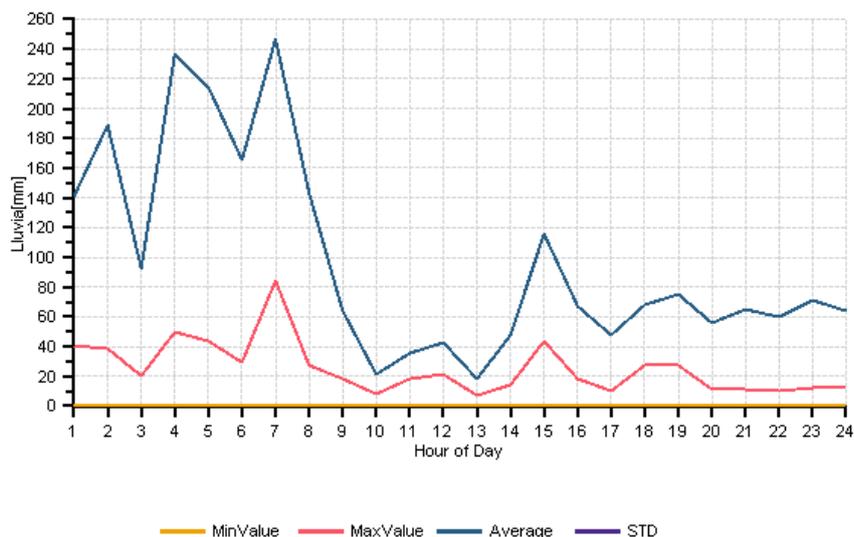
4.1. PRECIPITACION

4.1.1. Distribución de Lluvias



Grafica 23. Precipitación Diaria y Acumulada en la Estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011.

El mes más lluvioso fue el de octubre. Los eventos de precipitación más fuertes se presentaron en horas de la mañana, pero los más prolongados se presentaron en horas de la tarde



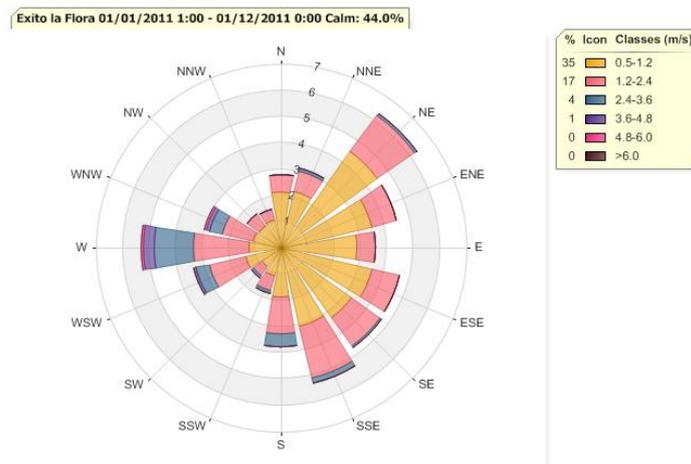
Grafica 24. Relación media diaria de precipitación en la Estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011.

Este gráfico muestra que la mayoría de los días del año los cuales presentaron lluvias ocurrieron en alta intensidad en las horas de la mañana y algunas lluvias ligeras en horas de la tarde.

4.2. VIENTOS EN SUPERFICIE

4.2.1. ROSAS DE VIENTO

A continuación se presentan las gráficas de rosas de vientos horarias, construidas a partir de la información validada para los parámetros de velocidad y dirección del viento en el Enero - Noviembre de 2011, las cuales tienen un porcentaje de representatividad del 100%.



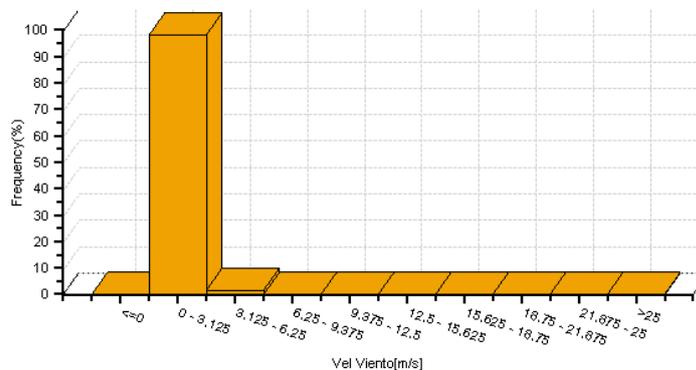
Fuente: Graficas Software Envista ARM _DAGMA

Grafica 25. Rosa de Vientos en la Estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011.

La rosa de vientos corresponde al periodo definido entre las 00:00 horas del día 01 de Enero de 2011 hasta las 24:00 horas del día 30 de Noviembre de 2011.

Para la dirección predominante del viento Oeste-W que sopla hacia el Este-E, se observa que tuvo asociada una velocidad media de vientos de 3.15 m/s, lo cual favorece una mejor dispersión y dilución de los contaminantes en la zona.

A partir de la distribución de frecuencias de velocidad de vientos, se construye la siguiente gráfica.



Fuente: Graficas Software Envista ARM -DAGMA

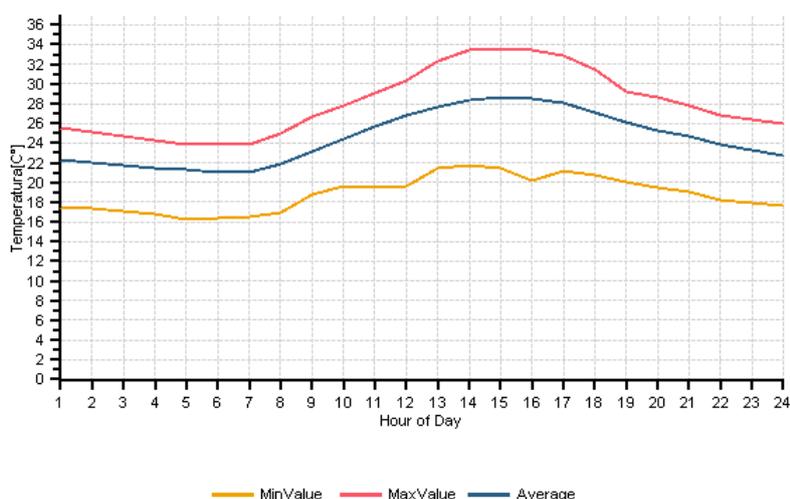
Grafica 26. Distribución de Frecuencias de Velocidad de Vientos en la Estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011.

De la gráfica 13 se observa que durante el Enero - Noviembre de 2011, en la zona norte predominaron vientos con velocidades entre los 0.2 a 3.12 m/s, registrándose con una intensidad de más del 90%.

4.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La zona urbana del municipio se encuentra ubicada entre 956 m.s.n.m. (Rio Cauca) y 1440 m.s.n.m. (Patio bonito), por lo tanto la temperatura varía entre 21 °C y 24 °C como temperaturas medias mensuales en la zona urbana.

Este factor está influenciado por la circulación de los vientos valle-cordillera y por la altura sobre el nivel del mar.



Fuente: Graficas Software Envista ARM _DAGMA

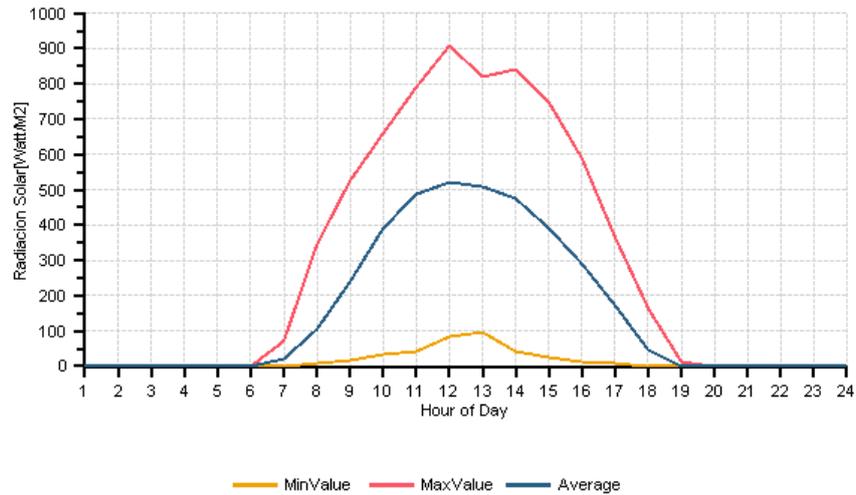
Grafica 27. Relación Media Temperatura diaria en la estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011

Se encontro que el promedio de temperatura en el norte de la ciudad está alrededor de los 25°C.

4.4. RADIACION SOLAR

En la estación ERA se encuentra el sensor de medición de radiación solar a partir del cual se han tomado los registros entre las 5:00 y las 18:00 horas con el objeto de hallar los acumulados diarios, máximos horarios, máximos diarios y promedios de radiación solar. Es importante resaltar que en este rango de horas es cuando se registra radiación solar en Colombia.

El ciclo anual de Radiación solar en términos generales, es consistente con los ciclos de precipitación y temperatura, con valores bajos durante las temporadas de lluvias y altos en periodos secos.



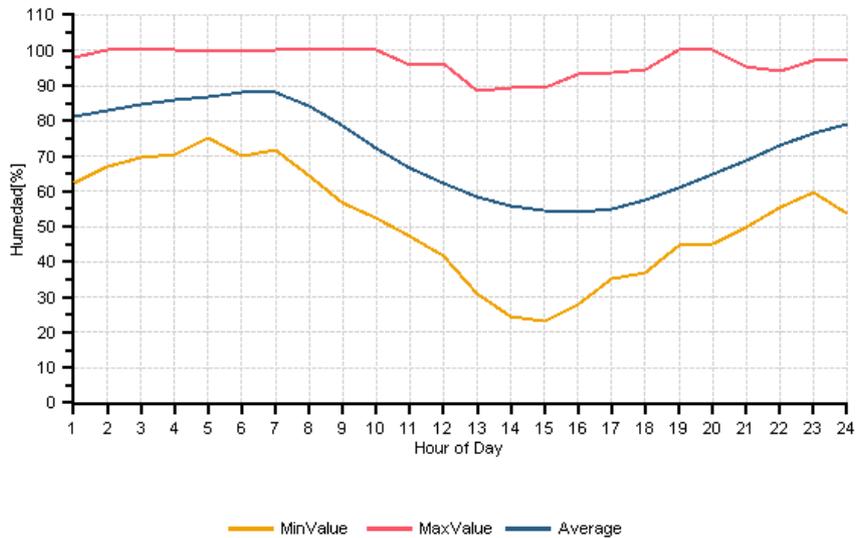
Fuente: Graficas Software Envista ARM_DAGMA

Grafica 28. Relación Media Diaria de Radiación Solar- Estación Éxito la Flora. Enero - Noviembre de 2011.

El comportamiento natural de la radiación solar hace que los niveles de ozono en la troposfera aumenten considerablemente.

4.5. HUMEDAD RELATIVA

La variación media mensual de la humedad relativa se muestra a continuación



Fuente: Graficas Software Envista ARM_DAGMA

Grafica 29. Relación media diaria de Humedad Relativa en la Estación Éxito la Flora – Enero - Noviembre de 2011.

En horas de la mañana se presentaron los porcentajes más altos de humedad relativa en el año 2011, y alrededor de las 3 de la tarde se encontraron los valores más bajos de humedad.