



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

ESTUDIO DE CALIDAD DE AIRE DEL VALLE DEL CAUCA UTILIZANDO MUESTREADORES PASIVOS

Dirección técnica Ambiental - CVC

Germán Restrepo López - Químico

Profesional Especializado
german.restrepo@cvc.gov.co

Leonardo Aponte Reyes - Químico

Profesional Contratista
laponter@hotmail.com

Septiembre de 2011

1. Introducción

Con el objeto de actualizar la información de calidad de aire en los municipios del Valle del Cauca se realiza una campaña de monitoreo en el periodo 2010 – 2011 utilizando la tecnología de muestreadores pasivos, dada su versatilidad, facilidad de instalación y bajos costos, propiedades que permiten una mayor cobertura regional.

Para el desarrollo de esta campaña se utilizaron los muestreadores pasivos producidos por el Instituto Sueco de Investigaciones Ambientales - IVL, los cuales fueron instalados en diferentes puntos al interior de las áreas urbanas de los municipios localizados en el valle geográfico.

1 Antecedentes

En el período abril de 1999 y septiembre de 2001 se realizaron monitoreos de calidad de aire utilizando estaciones fijas y la unidad móvil automática instalada en diferentes municipios del departamento del Valle del Cauca. Los resultados obtenidos indican cumplimiento de la calidad de aire tomando como referencia las normas de calidad nacionales vigentes a la fecha (Decreto 02 de 1982) y las normas USEPA, utilizadas como referencia para promedios horarios, octo-horarios y diarios.

En dicho estudio se identifican Yumbo y Palmira como los centros urbanos con las concentraciones más altas para la mayoría de los contaminantes analizados, superando $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10 en el sector Acopi – Yumbo, coincidiendo este valor de la norma internacional utilizada entonces como referente con el valor vigente a la fecha, establecido mediante la Resolución 601 de 2009 mediante la cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece las concentraciones máximas permisibles de contaminantes en calidad de aire.

Con estos resultados fue establecida la línea base ambiental en el 2001 y la concentración de fondo en el departamento (sin afectación directa por fuentes específicas) para los contaminantes monitoreados.

Tabla 1: Línea base ambiental (Año 2001) para los contaminantes prioritarios, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Contaminante	Palmira	Yumbo	Acopi	Vijes	Buga	Cartago	Tuluá
PM10	48,6	30,5	70	16,6	19,2	21,2	15,8
Dióxido de Azufre (SO ₂)	13,3	29,3	46,6	10,5	65,4	26,2	13,9
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	19,0	18,6	ND	ND	ND	18,8	ND
Ozono (O ₃)	ND	ND	ND	9,9	8,9	7,9	15,3



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

monóxido de Carbono (CO)	1,21	0,48	1,40	ND	0,38	0,51	0,25
---------------------------------	------	------	------	----	------	------	------

Foto 1. Muestreadores pasivos



2 Metodología

Los muestreadores pasivos corresponden a tubos difusores diseñados para medir la concentración específica de gases presentes en el aire ambiente. Su principio de funcionamiento se basa en la difusión de los gases a una velocidad determinada a través de una membrana para ser fijados químicamente al interior del dispositivo. Conocida la velocidad de difusión (medida experimentalmente por el fabricante) y el tiempo de exposición, se calcula el volumen total de moléculas del gas que ingresaron al dispositivo durante el tiempo total de exposición. El contenido del gas atrapado es medido en el laboratorio y se reporta el resultado en unidades de concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el aire.

En el caso particular del presente estudio se utilizaron muestreadores para NO_2 , SO_2 y O_3 . Utilizando los soportes específicamente diseñados para ellos, los muestreadores fueron instalados al aire libre en estructuras disponibles en los centros urbanos, tales como terrazas o balcones en edificaciones ubicados en alturas entre 6 y 12 metros. Los sitios fueron seleccionados previamente utilizando mapas de cada centro poblado, buscando una distribución estratégica que permitiera la cobertura representativa de las áreas urbanas. Se incluyeron dos estaciones al norte del departamento del Cauca en donde se encuentran los parques industriales, por su influencia en la calidad del aire del sur del Valle del Cauca.

Al momento de la instalación y retiro de las unidades se llena el libro de registro con la información correspondiente a su ubicación con coordenadas, altura sobre el nivel del mar, fecha y hora, además de la temperatura ambiente promedia.

Una vez retirados, se colocan en su empaque original, siguiendo las instrucciones del fabricante, y se embalan para su despacho seguro vía correo certificado a los laboratorios del IVL en Suecia para su análisis.

Tabla 2: Concentración de fondo para los contaminantes prioritarios, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM10	NO_2	SO_2	O_3	CO
20	20	10	10	0.3

3 Resultados

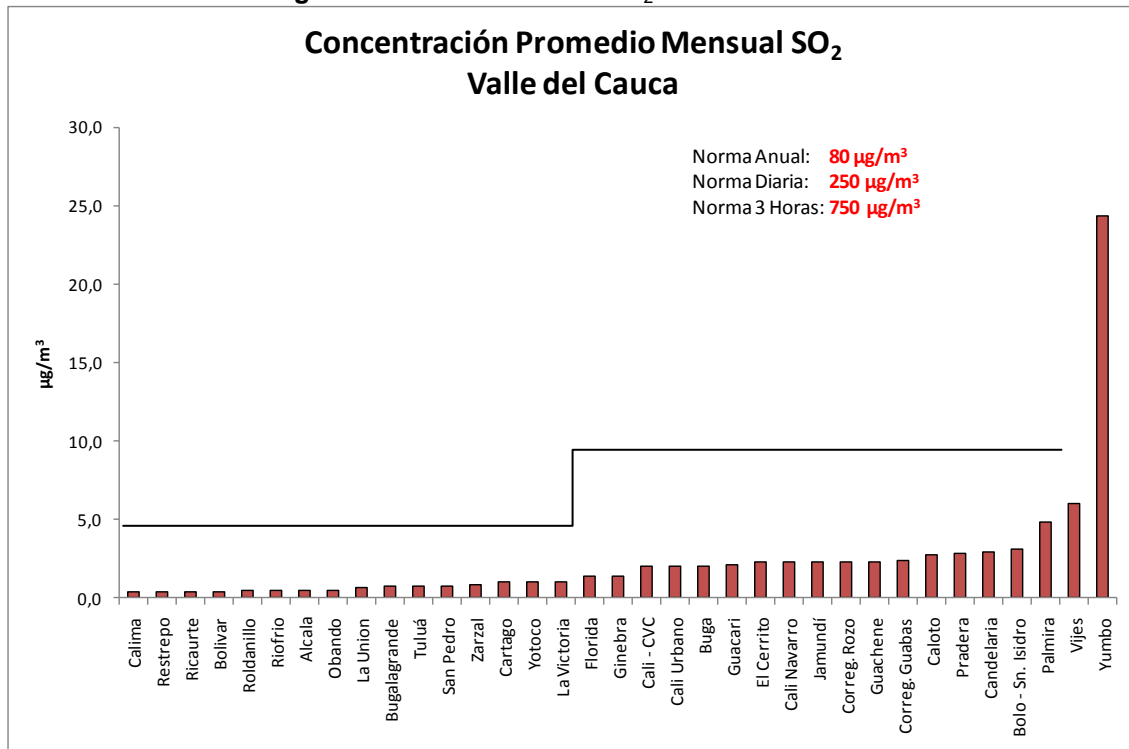
Dióxido de Azufre

La combustión de carbón, petróleo crudo y diesel constituye la principal fuente de óxidos de azufre en el aire al oxidarse las trazas de azufre elemental contenidas en estos combustibles.

Existe una clara diferenciación en las concentraciones presentes en el ambiente entre el norte y el sur del valle. Esta tendencia está relacionada con la actividad industrial, la cual se concentra al sur del valle geográfico, desde los parques industriales de Caloto en el departamento del Cauca hasta la zona media a la altura del municipio de Buga. Se destacan los niveles muy superiores de SO₂ en el área de Yumbo con 25 µg/m³ en promedio mensual, municipio en el que se encuentra la mayor concentración de industrias y mayor consumo de combustibles fósiles en calderas. Además se presentan emisiones de este contaminante directamente por algunas actividades productivas.

Las concentraciones de SO₂ en Yumbo quintuplican las concentraciones medias de Palmira y Candelaria, municipios en los que se superan ligeramente las concentraciones de los municipios al Sur, coincidiendo con un mayor número de ingenios azucareros. Adicionalmente, Estos municipios son afectados por el transporte por las corrientes de aire de contaminantes desde las zonas industriales de Yumbo y el norte del Cauca. Los municipios ubicados al norte y en la zona montañosa del Valle, caracterizados por su vocación agrícola y turística, presentan los niveles más bajos de SO₂ con concentraciones inferiores a 1.0 µg/m³ en promedio mensual. En el resto del área estudiada el 77% de las concentraciones halladas se encuentran entre 2.0 y 5.0 µg/m³. Todos los valores encontrados cumplen ampliamente con la norma de calidad de aire para SO₂. Los promedios mensuales más altos, comparados con la norma anual, se encuentran entre el 6 y el 20 % del máximo permisible.

Figura 1. Concentración de SO₂ en el Valle del Cauca



Dióxido de Nitrógeno

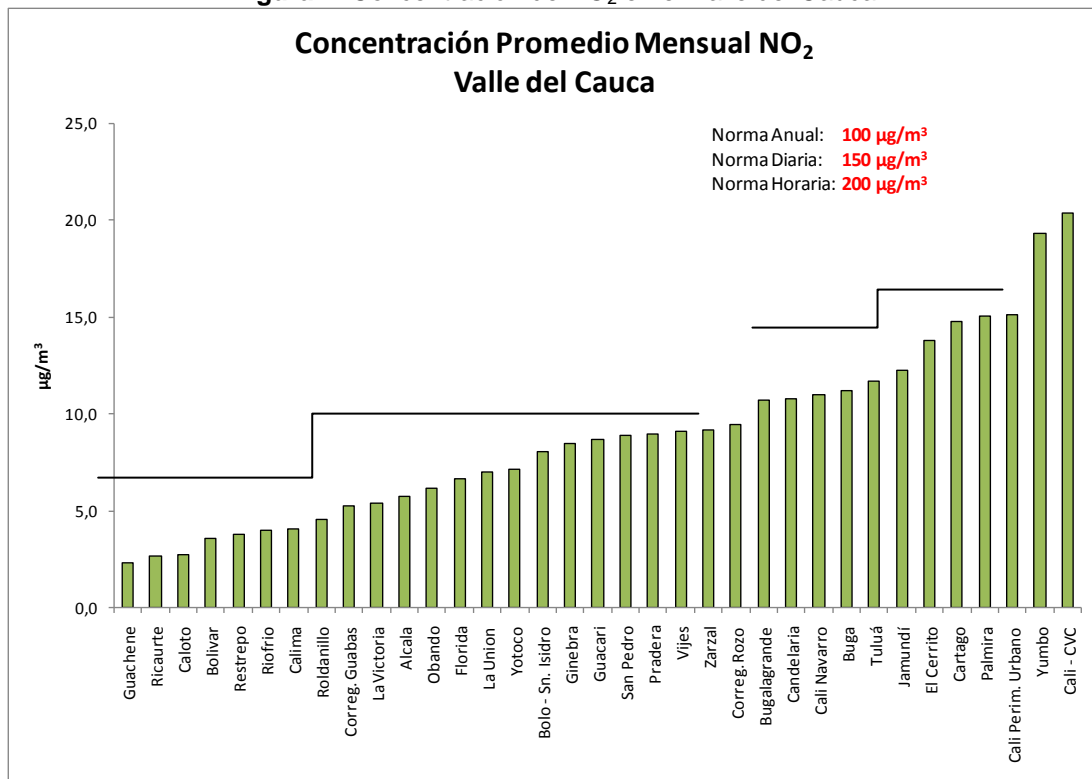
Los óxidos de nitrógeno son originados por la oxidación del Nitrógeno del aire a altas temperaturas. Es así como la contaminación producida por este gas se genera primordialmente por las emisiones de vehículos automotores, además de algunas actividades industriales en las que se presentan procesos con temperaturas mayores a 1000 °C, como en hornos de clinker de la industria cementera y en procesos de incineración de residuos.

Es así como en los municipios más apartados de las actividades industriales y con menor tráfico vehicular, como son los municipios de Guachené y Caloto al sur del valle geográfico, Calima El Darién y Restrepo en la zona montañosa, y Roldanillo y Riofrío en el pie de monte de la cordillera occidental al norte del Valle del Cauca se registran las menores concentraciones de este contaminante con niveles inferiores a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En los municipios del norte y centro del Valle, con excepción de Cartago, que presenta mayor tráfico vehicular, las concentraciones oscilan entre 5 y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que del centro al sur del valle, al igual que en Cartago, se registran valores entre 10 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Solamente se superan estos niveles en Yumbo y en la zona centro de Cali (estación CVC) con valores alrededor de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio mensual.

A pesar de lo indicado, aun las más altas concentraciones se encuentran muy por debajo del valor máximo permisibles estipulados en la norma como promedio anual, con niveles entre el 15% y el 20 %.

Figura 2. Concentración de NO₂ en el Valle del Cauca



Ozono

El ozono en la troposfera es un contaminante indirecto producido naturalmente por reacción entre moléculas de oxígeno y radicales $O\bullet$ catalizada por dióxidos de nitrógeno (NO_2) en presencia de luz solar. Igualmente, el ozono se descompone al reaccionar con el oxígeno del aire. En ambientes urbanos este ciclo en equilibrio se rompe por la presencia de hidrocarburos, emitidos por fuentes móviles y por los surtidores de combustibles. Los hidrocarburos reaccionan con el monóxido de nitrógeno (NO) -producto de la combustión- produciendo NO_2 , aumentando así su concentración en el ambiente, y en consecuencia, la producción de ozono en la troposfera (Figura 1).

Es por ello que la contaminación por ozono en centros urbanos se atribuye a las emisiones del tránsito vehicular. Sin embargo, debido a que la reacción de formación de ozono depende de la radiación solar, esta se presenta solamente entre las 7 am y las 6 pm, con máximos entre la 1 PM y las 2 PM, coincidiendo con las horas de máxima radiación. En las noches el ozono remanente se consume rápidamente por reacciones de oxidación con los materiales con los que entra en contacto y reacciones de generación de ácido nítrico (HNO_3) en la atmósfera –causante de lluvia ácida- por lo que se reduce hasta concentraciones mínimas.

Siendo que los muestreadores pasivos fueron instalados por periodos continuos de hasta 30 días consecutivos, las concentraciones obtenidas corresponden a los promedios día – noche de todo el periodo muestreado. Los promedios obtenidos no están incluidos en las normas de calidad de aire, en parte debido a que este contaminante no es acumulativo. Sin embargo, los resultados así obtenidos permiten comparar la afectación por ozono en un orden regional.

Como es de esperarse, los resultados indican menor afectación por ozono en los municipios más pequeños en los que hay un menor número de vehículos en circulación. Es así como el norte del Valle, incluido Cartago, presenta las menores concentraciones de ozono en promedio mensual, con valores entre 20 y 25 $\mu g/m^3$.

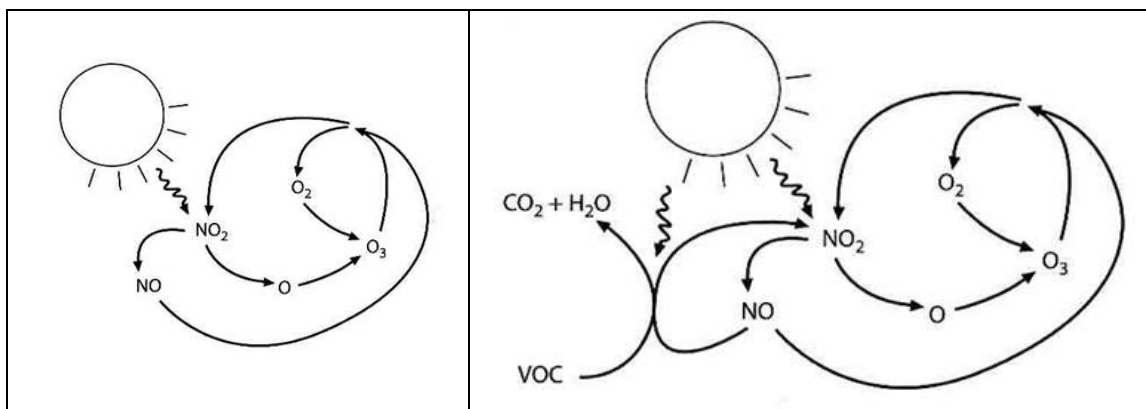
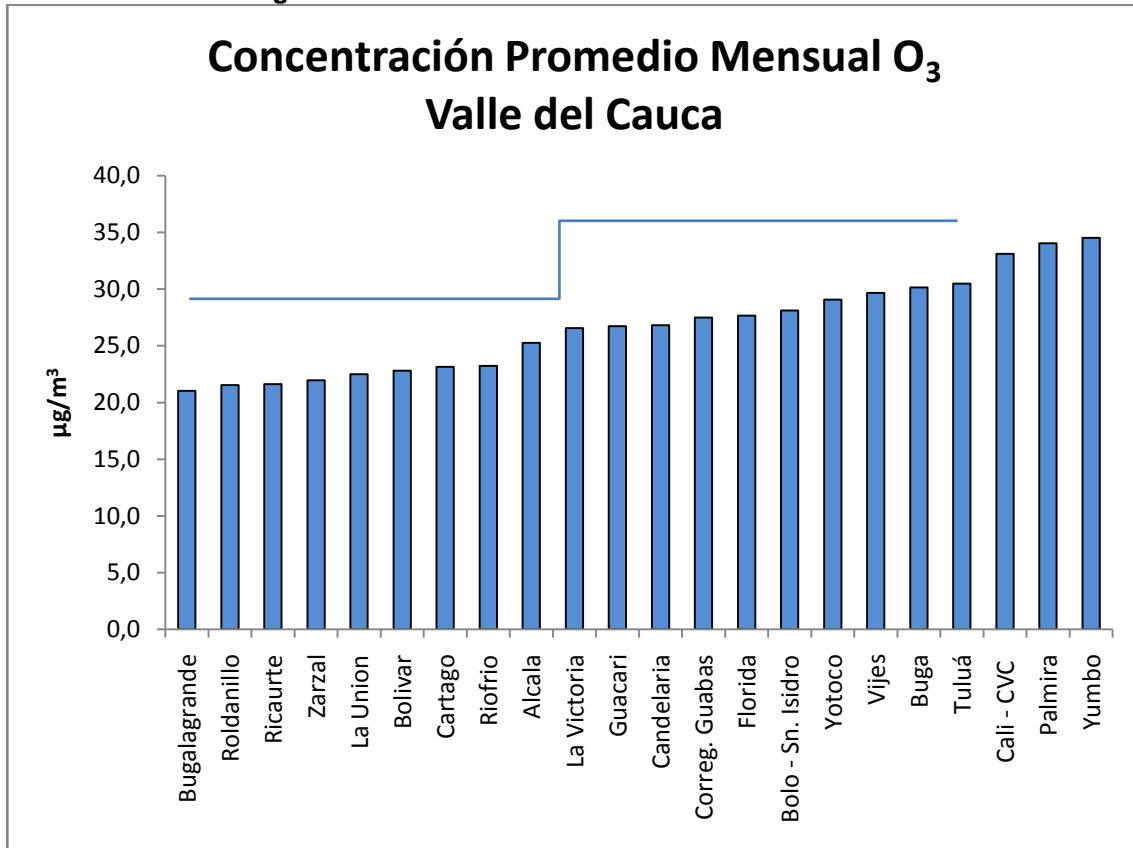


Figura 3. Representación esquemática de la formación de Ozono en la troposfera

Figura 4. Concentración de Ozono en el Valle del Cauca



En el resto del departamento el ozono presenta niveles medios entre 25 y 30 µg/m³, superando estos niveles con valores cercanos a 35 µg/m³ solamente los municipios de Yumbo, Palmira y la estación CVC en Cali.

4 Discusión

Los resultados obtenidos con la campaña de monitoreo realizada con los muestreadores pasivos permiten establecer la condición actual de la calidad de aire y precisar la concentración de fondo para los contaminantes monitoreados en la región, según se establece en la Tabla 3.

Adicionalmente con la cobertura realizada en los municipios con un mayor número de habitantes, el monitoreo realizado confirma la representatividad de las estaciones instaladas en Yumbo y Palmira de la calidad de aire en toda la extensión de estos municipios. Igualmente, indica que en cada centro poblado un solo punto de monitoreo estratégicamente ubicado, es decir sin la influencia directa de fuentes de emisión puntuales o por vías de alto tráfico, es representativo de la calidad del centro urbano.

5 Conclusiones

La tecnología de muestreadores pasivos constituye una alternativa confiable para el monitoreo de la calidad de aire. El monitoreo de la calidad de aire utilizando estos dispositivos presenta beneficios como la flexibilidad para ubicación de los muestreadores y requerimientos mínimos de operación, además de la representatividad de los datos obtenidos y bajos costos de operación.

Los resultados obtenidos en promedios mensuales para los gases NO₂ y SO₂ permiten diseñar campañas de monitoreo continuo durante los 12 meses del año, permitiendo el cumplimiento de esta exigencia de la normatividad sobre vigilancia de la calidad de aire, con posibilidades de una amplia cobertura regional dados los bajos costos en inversión y operación.

Para realizar monitoreos de Ozono (O₃) y Monóxido de Carbono (CO) con esta tecnología dando cumplimiento a la normatividad sobre vigilancia de la calidad del aire, los muestreadores pasivos se deben dejar expuestos al aire por los tiempos máximos indicados en las normas diarias, es decir 8 horas en horario diurno.

Según los resultados obtenidos con el muestreo realizado, se encuentra que los municipios localizados en el valle geográfico en el área de jurisdicción de la CVC presentan concentraciones medias de los gases NO₂ y SO₂ en el aire que son seguros para la salud y el ambiente, aun en los centros urbanos afectados por intenso tráfico automotor, al igual que en las áreas con mayor actividad industrial.

A pesar de que los datos obtenidos corresponden a un solo mes de monitoreo, por los bajos niveles en las concentraciones medidas se puede proyectar el cumplimiento de los promedios máximos permitidos de la norma anual de calidad de aire en toda la región.

Tabla 3: Concentración de fondo para los gases monitoreados, µg/m³

	NO ₂	SO ₂
Zona Montañosa	5	0.5
Norte del valle	10	1
Sur del valle - Buga, Tuluá y Cartago	15	2



6 Agradecimientos

Este proyecto fue posible realizarlo gracias a la comunidad que con gran sentido de colaboración e interés por la investigación adelantada facilitó la instalación de los dispositivos de muestreo.



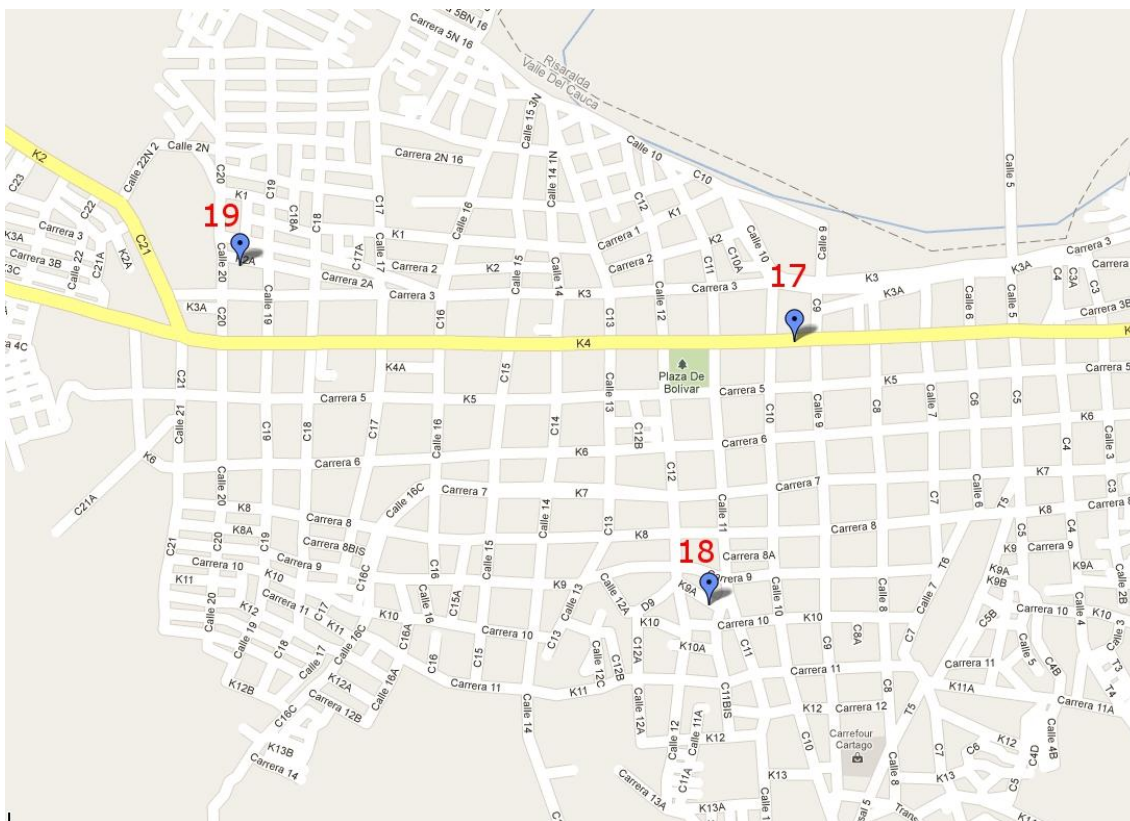
7 Anexo 1. Resultados



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Municipios del Norte del Valle

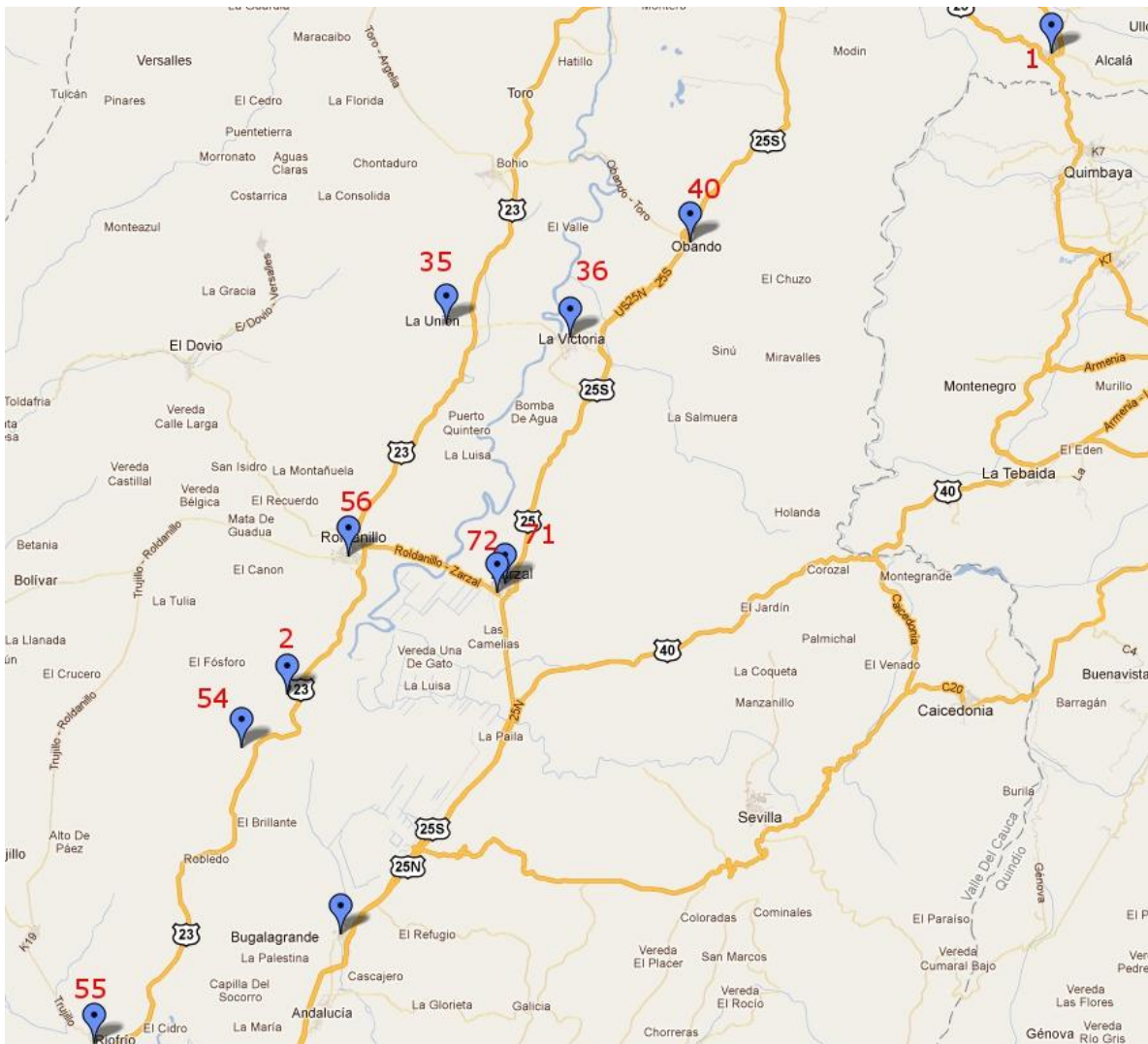
ID	Municipio	SO ₂	NO ₂	O ₃
1	Alcalá	0,5	5,7	25
17	Cartago - CVC	1,3	19,3	19
19	Cartago - Parque Lineal	0,7	13,3	
18	Cartago - Palatino	0,9	11,6	27
35	La Unión	0,6	7,0	22
40	Obando	0,5	6,1	
36	La Victoria	1,0	5,4	26
71	Zarzal - Centro	0,8	10,0	22
72	Zarzal - EPSA	0,8	8,3	
2	Bolívar	0,4	3,6	23
54	Ricaurte	0,3	2,6	22
55	Riofrío	0,5	4,0	23
56	Roldanillo	0,5	4,5	21



Ubicación de los puntos de monitoreo en Cartago



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



Distribución de los puntos de monitoreo en municipios del norte del Valle



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Zona montañosa centro del departamento

ID	Municipio	SO ₂	NO ₂	O ₃
13	Calima	0,3	4,0	
52	Restrepo - Punto A	0,3		
53	Restrepo - Punto B	0,0	3,8	





Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Municipios al centro del Valle

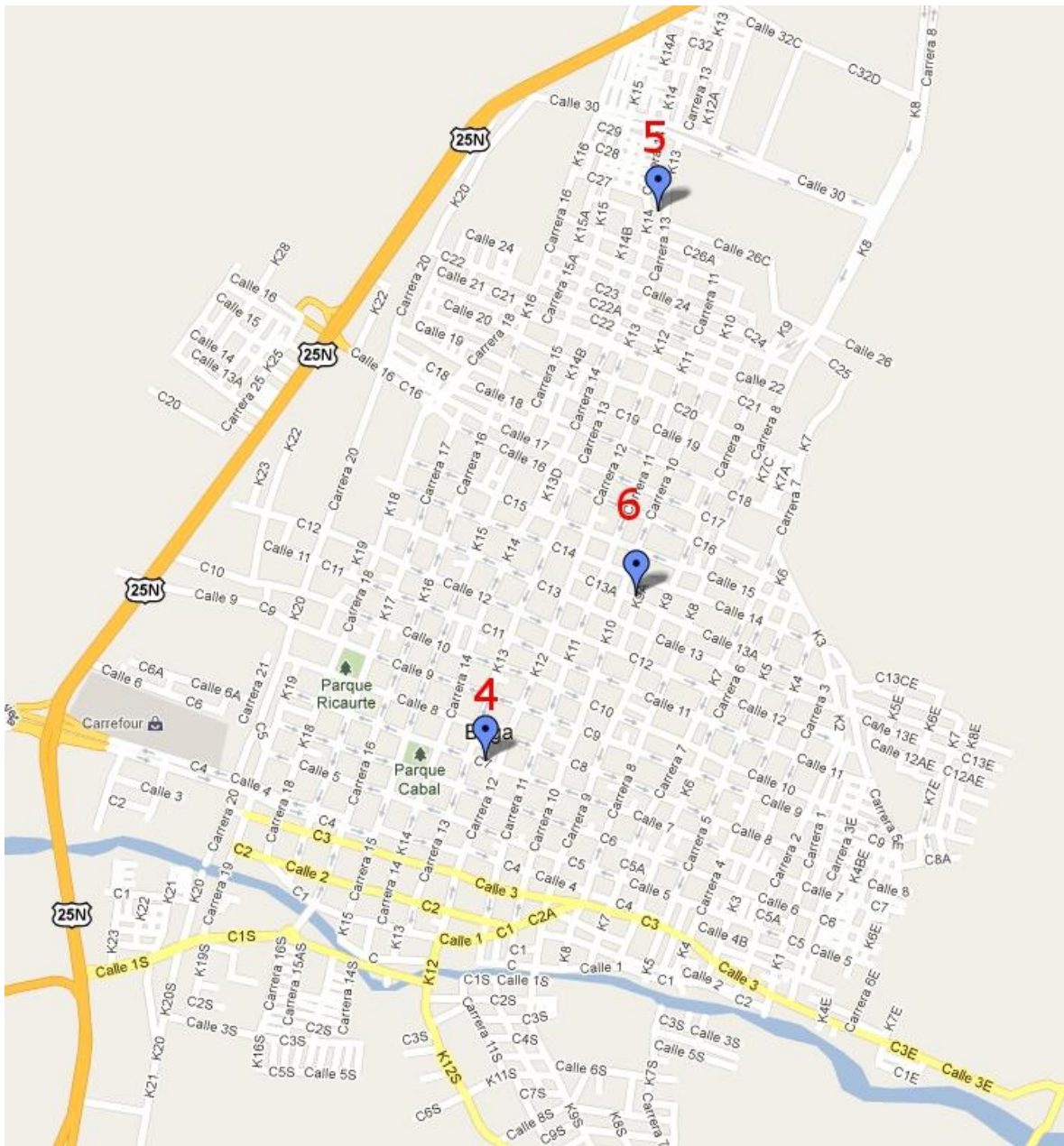
ID	Municipio	SO ₂	NO ₂	O ₃
64	Yotoco 1	1,0	7,0	29
65	Yotoco 2	1,0	7,2	
4	Buga - Alcaldía	1,9	12,5	29
6	Buga - Parque Los Leones	1,9	11,6	32
5	Buga - ITA	2,3	9,3	29
57	San Pedro	0,7	8,8	
59	Tuluá – B. Victoria	0,7	10,9	31
60	Tuluá - Estadio	0,9	11,5	33
58	Tuluá – B. R. Cruz	0,7	12,1	31
61	Tuluá - Sedama	0,7	12,1	30
7	Bugalagrande	0,7	10,7	21



Tuluá: Ubicación de los puntos de monitoreo



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



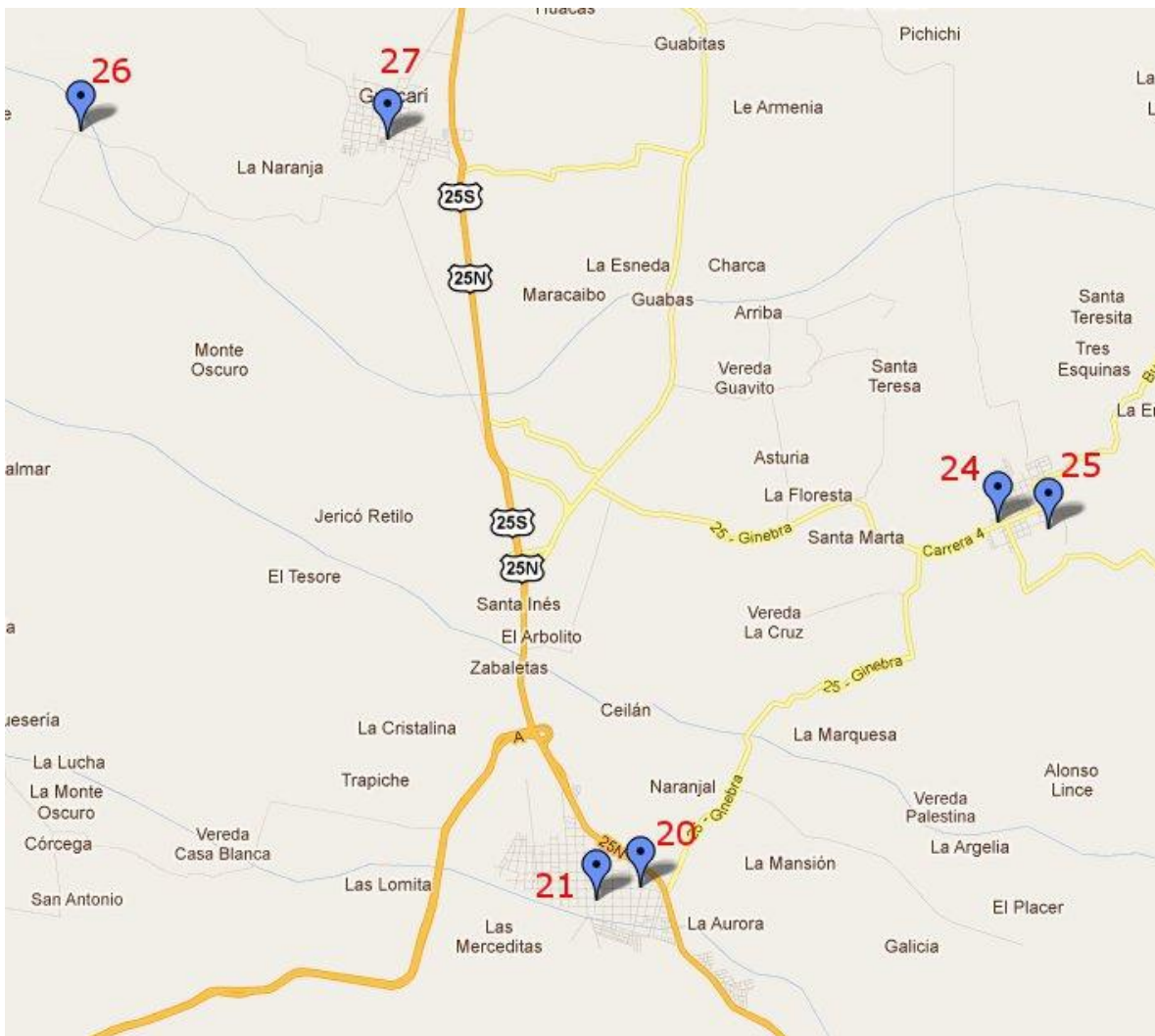
Buga: Ubicación de los puntos de monitoreo



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Municipios Centro Sur

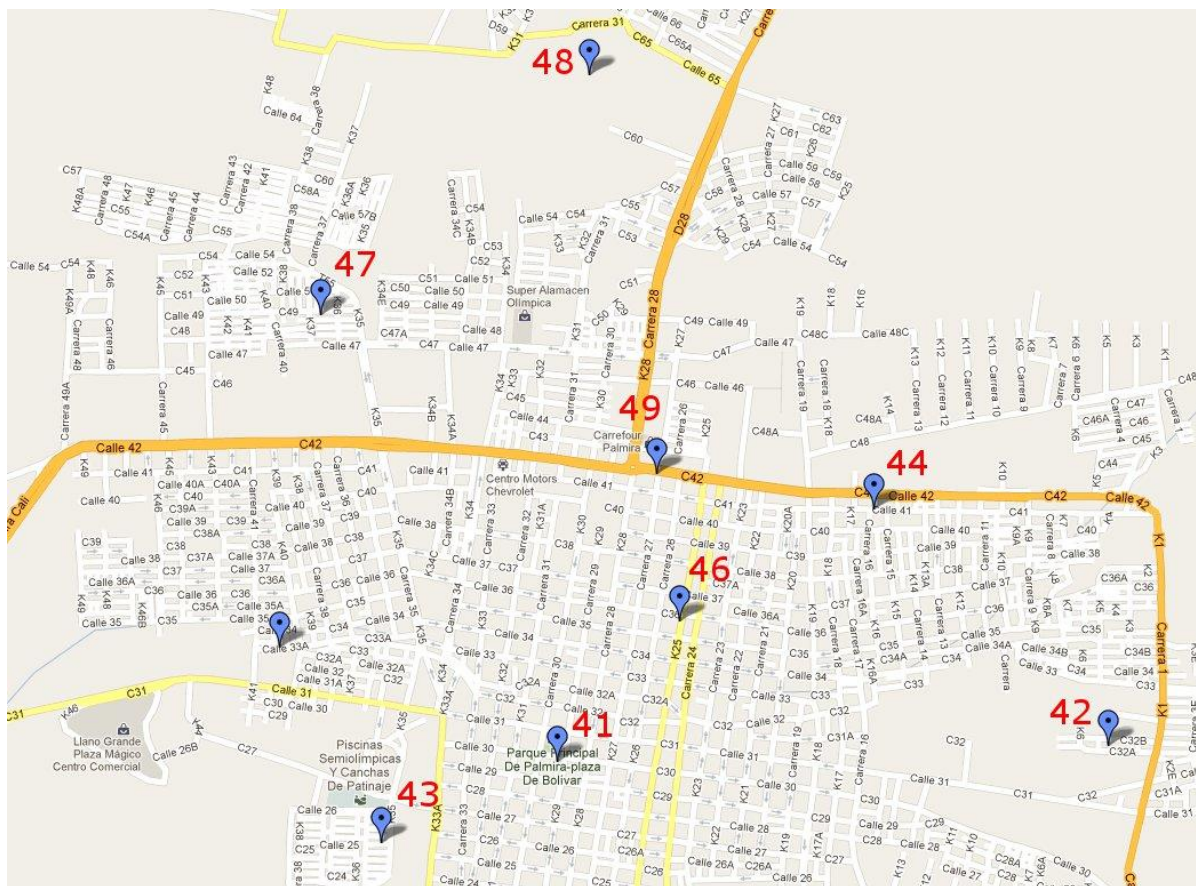
ID	Municipio	SO ₂	NO ₂	O ₃
24	Ginebra - Bomberos	1,5	12,5	
25	Ginebra - CVC Estación Minera	1,2	4,4	
26	Guabas	2,4	5,3	27
27	Guacarí	2,1	8,7	27
20	El Cerrito - Bomberos	2,6	13,7	
21	El Cerrito - Club	1,9	13,8	



El Cerrito Guabas, Guacarí y Ginebra: Ubicación de los puntos de monitoreo

Zona Sur Oriente

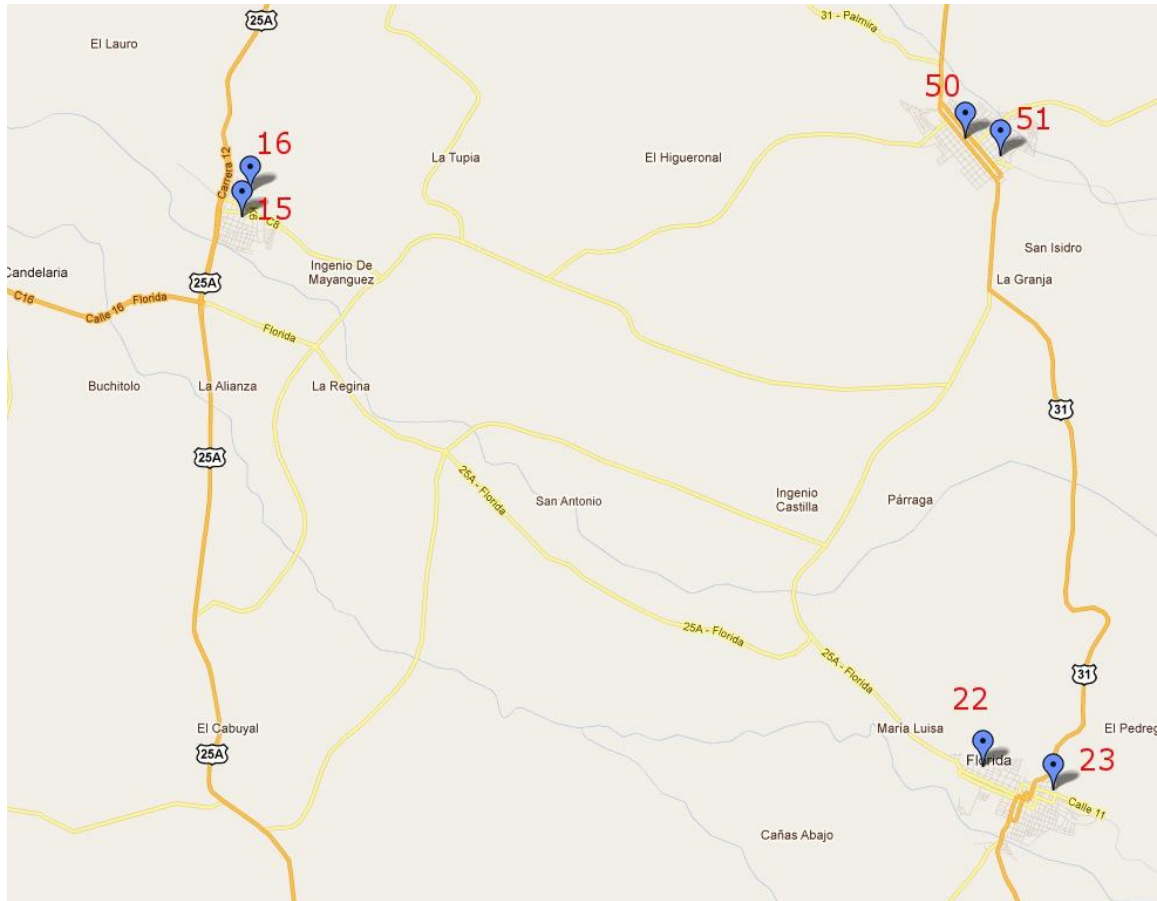
ID	Municipio	SO2	NO2	O3
41	Palmira - Alcaldía	5,7	17,8	38
42	Palmira - B. El Jardín	3,5	11,3	34
43	Palmira - B. Olímpico	5,8	13,9	
44	Palmira - B. San Pedro	4,0	15,5	
45	Palmira - Las Acacias	5,7	13,3	
46	Palmira - Parque Obrero	5,1	19,9	34
47	Palmira - Sta. Teresita	4,8	14,4	
49	Palmira - Versailles	4,7	19,8	33
48	Palmira - Univalle (Zamorano)	4,1	9,3	31
3	Bolo San Isidro	3,1	8,0	28
50	Pradera - Iglesia	3,5	10,2	
51	Pradera - Oriente	2,1	7,7	
23	Florida - Oriente	1,1	6,1	27
22	Florida - B. La Esperanza	1,7	7,2	28
15	Candelaria - Centro	2,7	11,5	27
16	Candelaria - Norte	3,1	10,1	27



Palmira: Ubicación de los puntos de monitoreo



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



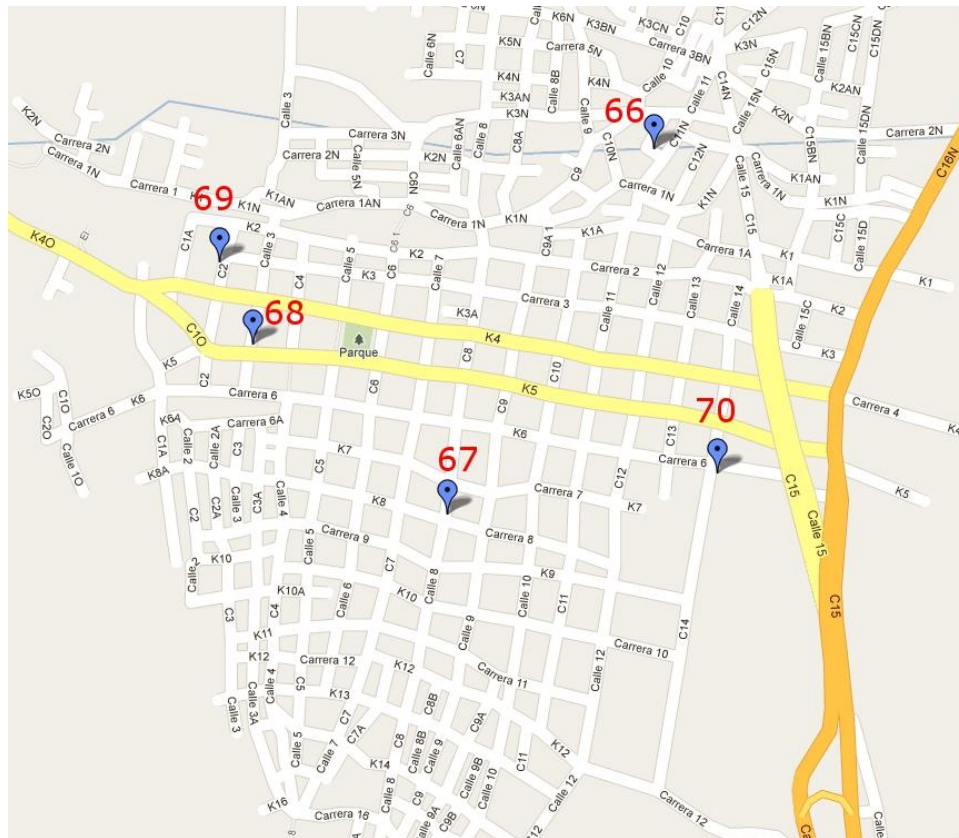
Puntos de monitoreo en Candelaria, Pradera y Florida



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Zona Sur Occidente del departamento

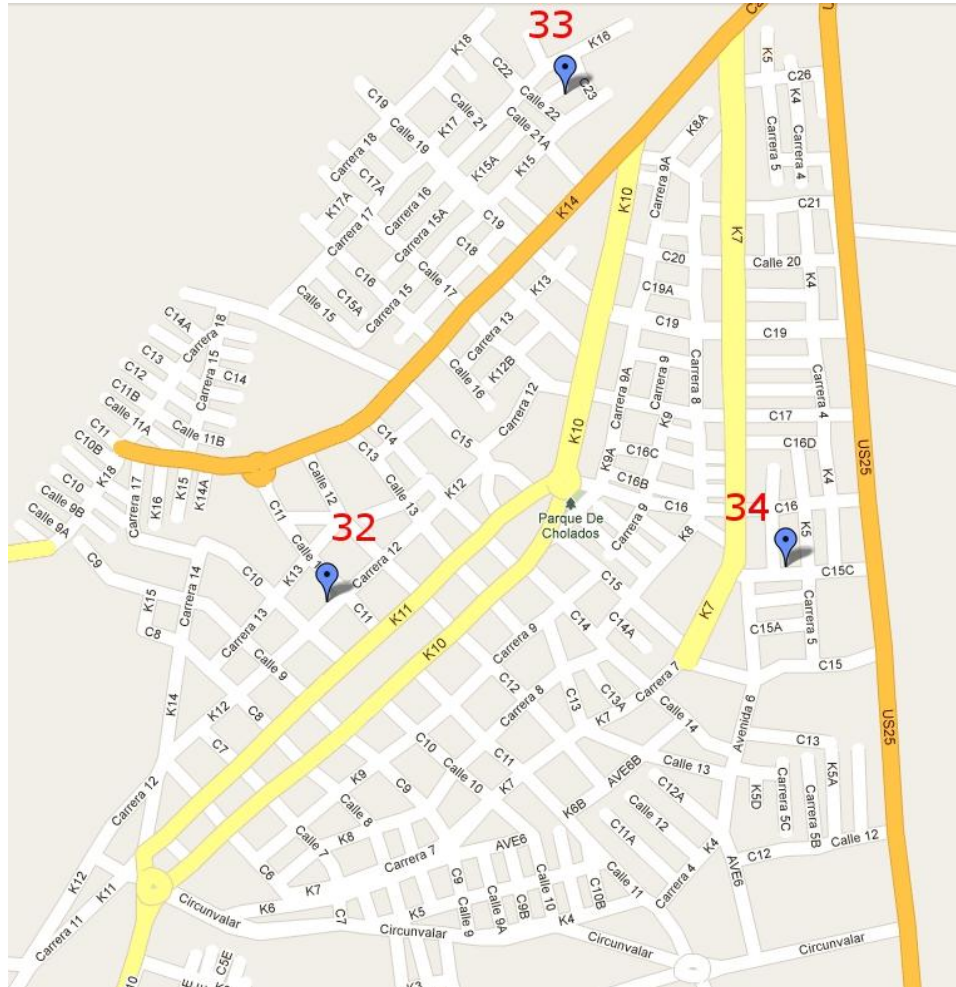
ID	Municipio	SO2	NO2	O3
63	Vijes	5,9	9,1	30
67	Yumbo – Calle 8 Cra. 8	28	20	
66	Yumbo – Calle 1AN Cra. 10AN	22	18	36
68	Yumbo - Calle 3 Cra. 5	23	20	33
69	Yumbo - CVC	21	17	34
70	Yumbo - ECA	27	21	34
32	Jamundí - CVC	2,5	15,7	53
34	Jamundí - Oriente	2,3	11,1	
33	Jamundí - Norte	2,1	9,9	37
14	Caloto	2,7	4,9	
28	Guachené	2,3	6,5	



Yumbo: Ubicación de los puntos de monitoreo



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



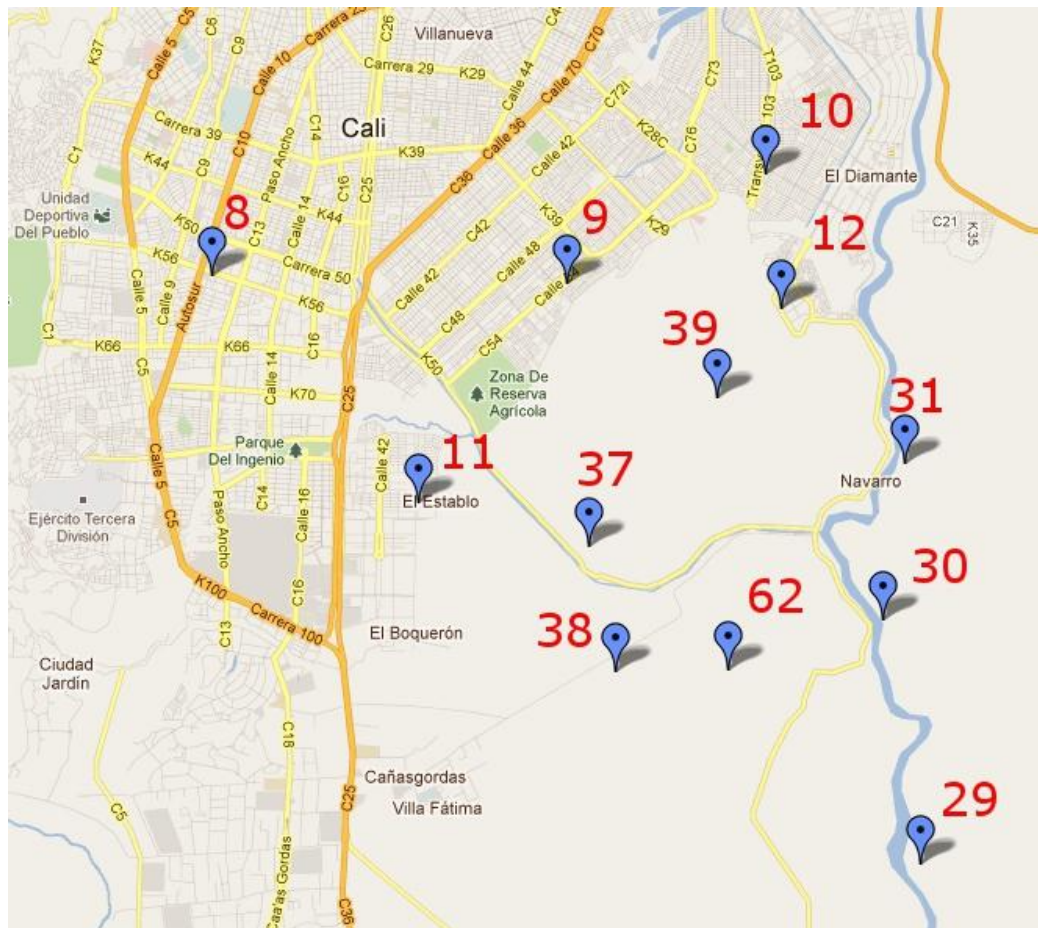
Jamundí: Ubicación de los puntos de monitoreo



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

Cali y Zona de influencia del relleno sanitario de Navarro

		SO2	NO2	O3
29	Hacienda La Alemania	1,8	8,2	
31	Hacienda Navarro	2,1	8,5	
30	Hacienda La Elisa	2,1	9,9	
37	Relleno Sanitario Navarro - Báscula	1,5	11,4	
39	Hacienda La Cabaña	2,3	13,6	
38	Club Cañasgordas	2,4	10,7	
62	Vereda Morgan	1,9	14,6	
9	Cali - El Vallado	2,1	19,1	
10	Cali - La Casona	3,4	18,8	
11	Cali - Las Vegas	1,7	16,3	
12	Cali - Pízamos	1,8	12,9	
8	Cali - CVC Cra 56 Calle 11	2,0	34,3	33



Ubicación de los puntos de monitoreo en Cali y Zona de influencia del relleno sanitario de Navarro