

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

**“Diseño de un sistema de información geográfica para la Red de
Monitoreo Ambiental de la ciudad de Cuenca”**

Adriana Espinoza Molina

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Master en
Sistemas de Información Geográfica

Cuenca, Octubre de 2011

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

“Diseño de un sistema de información geográfica para la Red de Monitoreo Ambiental de la ciudad de Cuenca”

Adriana Espinoza Molina

Richard Resl. MSc.,
Director de Tesis
Director del Programa de Maestría en
Sistemas de Información Geográfica

Pablo Cabrera, MSc.,
Miembro del Comité de Tesis

Stella de la Torre, Ph.D.,
Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales

Victor Viteri, Ph.D.,
Decano del Colegio de Posgrados

Cuenca, Octubre de 2011

Derechos de autor: *Según la actual Ley de Propiedad Intelectual, Art. 5: “el derecho de autor nace y se protege por el solo hecho de la creación de la obra, independientemente de su mérito, destino o modo de expresión... El reconocimiento de los derechos de autor y de los derechos conexos no está sometido a registro, depósito, ni al cumplimiento de formalidad alguna.” (Ecuador. Ley de Propiedad Intelectual, Art. 5)*

Propiedad intelectual de **ADRIANA ESPINOZA MOLINA, 2011**

todos los **derechos reservados**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Vicente y Esilda, y a mis hermanos Claudia, Fabricio, Daniela, Vanessa, gracias por su amor, comprensión y por siempre estar junto a mí brindándome su ayuda, apoyo y amistad.

Adriana Espinoza Molina

RESUMEN

Debido al incremento del parque automotor y por ende el crecimiento en el consumo de los combustibles fósiles como gasolina, diesel, bunker, cada día se puede observar el incremento del tráfico vehicular y por consiguiente el aumento de la contaminación del aire.

Ante esta situación la Municipalidad de Cuenca en diciembre del 2007 instaló una red de monitoreo pasivo de la calidad del aire en la ciudad, en el año 2011 con el apoyo del Ministerio de Ambiente se adquiere una Estación Automática de Calidad del Aire y Meteorológica, la misma provee datos en tiempo real utilizando analizadores automáticos, lo cual permite hacer un análisis inmediato.

Para realizar un adecuado manejo de los datos obtenidos con la estación, estos deben ser almacenados en una base de datos; permitiendo la generación de estadísticas, determinar índices de calidad del aire ambiente, generación de mapas indicando la distribución espacial de los contaminantes, obtención de reportes los mismos que servirán tanto a la ciudadanía como a las autoridades de turno para que puedan tomar medidas en caso de que el índice de calidad de aire se encuentre en un estado de emergencia.

ABSTRACT

Due to the increased number of vehicles and therefore the growth in consumption of fossil fuels such as gasoline, diesel, bunker, every day you can see the increased traffic and therefore increased air pollution.

In this situation the Municipality of Cuenca in December 2007 set up a network of passive monitoring of air quality in the city in 2011 with support from the Ministry of Environment is acquired Automatic Station Air Quality and Meteorological, this provides real-time data using automatic analyzers, which allows an immediate analysis.

For proper management of the data obtained with the season, they must be stored in a database, allowing the generation of statistics, identify levels of air quality, generation of maps indicating the spatial distribution of pollutants, collection of reports that will serve them both citizens and the authorities in power so they can take action if the air quality index is in a state of emergency.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	2
2. OBJETIVOS	4
2.1 Generales.....	4
2.2 Específicos	4
3. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	6
3.1 Contaminación atmosférica.....	6
3.2 Principales contaminantes	7
3.2.1 Dióxido de nitrógeno, NO ₂	7
3.2.2 Material particulado	7
3.2.3 Ozono troposférico (O ₃)	8
3.2.4 Dióxido de azufre (SO ₂)	8
3.2.5 Monóxido de carbono (CO).....	9
3.3 Red de Monitoreo de la Ciudad de Cuenca.....	9
3.4 Estación Meteorológica Automática.....	12
3.5 Estación automática de calidad del aire y meteorología de la Empresa Pública de Movilidad (EMOV EP) de Cuenca	12
3.5.1 Detalle de los sensores de Estación.....	13
3.5.2 Integración del Sistema de Adquisición de Datos.....	14
3.5.3 Centro de Control de Datos	15
3.5.4 Proceso de recolección de datos.....	16

3.6	Índice de Calidad del Aire.....	20
3.7	Métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente	21
3.8	Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire	23
3.9	Medidas a tomar en caso de alarmas	24
3.10	Sistema de Información Geográfico.....	25
3.10.1	Beneficios.....	26
3.10.2	Evaluación de casos de uso de GIS	26
4.	METODOLOGÍA	27
4.1	Análisis de Requerimientos.....	27
4.1.1	Requerimientos funcionales.....	28
4.1.2	Requerimientos no funcionales.....	28
4.2	Identificación de actores	29
4.3	Identificación de escenarios	30
4.4	Identificación de casos de uso	30
4.5	Modelo de análisis	34
4.6	Representación casos de uso	34
4.7	Modelo de objetos de análisis	38
4.8	Diagrama de clases	38
4.9	Diccionario de datos	39
4.10	Modelo de Base de Datos	40
4.10.1	Análisis de base de datos	40
4.10.2	Diagrama de base de datos	41
4.11	Análisis de servidores de mapas	42

4.11.1	Funcionamiento de Mapserver	42
4.11.2	Componentes de la Aplicación con Mapserver	43
5.	RESULTADOS.....	45
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6.1	Conclusiones	45
6.2	Recomendaciones	46
7.	BIBLIOGRAFÍA	46
8.	GLOSARIO	48
9.	ANEXOS / APÉNDICES.....	50
9.1	Detalle de los índices de calidad del aire y la salud	50
9.2	Distribución espacial de las concentraciones de los diferentes contaminantes de la Red de Monitoreo Pasivo año 2009	51
9.3	Resultados de las mediciones de la Red de Monitoreo Pasivo año 2010	55
9.4	Lista de abreviaturas	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial de los puntos de vigilancia de la red pasiva de monitoreo de Cuenca.....	11
Figura 2. Esquema de la recolección de datos desde los analizadores	15
Figura 3. Esquema operativo de la Estación automática	19
Figura 4. Escenario Navegante de Internet	31
Figura 5. Escenario Administrador	34
Figura 6. CU1: Visita al Sitio Servidor de Mapas Navegante de Internet	35
Figura 7. CU2: Visita al Sitio Servidor de Mapas Administrador.....	36

Figura 8. CU3: Ingreso datos contaminante.....	36
Figura 9. CU4: Modificación datos contaminante.....	37
Figura 10. CU5: Eliminación datos contaminantes	37
Figura 11. CU6: Listado Contaminantes.....	38
Figura 12. Diagrama de Clases.....	39
Figura 13. Diagrama de Base de Datos.....	41
Figura 14. Funcionamiento de Mapserver.....	43
Figura 15. Componentes de una aplicación Mapserver	44
Figura 16. Distribución espacial de las concentraciones de los promedios anuales de MP10 en Cuenca año 2009.....	52
Figura 17. Distribución espacial de la concentración promedio anual de SO ₂ en Cuenca año 2009.....	53
Figura 18. Distribución espacial de la concentración de NO ₂ , en Cuenca año 2009.....	54
Figura 19. Promedio anual de las concentraciones de MP ₁₀ (μg/m ³). Año 2010.....	55
Figura 20. Concentraciones medias mensuales de MP ₁₀ (μg/m ³). Año 2010	55
Figura 21. Dióxido de azufre, promedio anual por estación (μg/m ³). Año 2010	56
Figura 22. Concentraciones medias mensuales de SO ₂ (μg/m ³). Año 2010	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los elementos fundamentales de la Estación Automática.....	14
Tabla 2. Índice Global de Calidad del Aire.....	21
Tabla 3. Métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente	23
Tabla 4. Resumen de concentraciones máximas por contaminante	24

Tabla 5. Medidas a tomar en caso de alarmas	25
Tabla 6. Resumen de los requisitos de hardware para el centro de control	29
Tabla 7. Recomendaciones en base al AQI de algunos contaminantes	51
Tabla 8. Descripción siglas de los puntos de monitoreo pasivo.....	57

1. INTRODUCCION

El aire es esencial para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en el hombre y otros seres vivos y, en general, en todo el planeta. Un aire contaminado puede dañar la salud de las personas y afectar a la vida de las plantas y los animales. Además los cambios que se producen en la composición química de la atmósfera pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, todos estos fenómenos de gran importancia, incluso nuestras actividades diarias y cotidianas originan contaminación.

En nuestra ciudad de Cuenca en los últimos años ha registrado un aumento del 7% al 9% del parque automotor y por ende el crecimiento en el consumo de los combustibles fósiles como gasolina, diesel, bunker, estos aspectos han causado problemas que antes solo se sentían en grandes urbes, cada día se puede observar el incremento del tráfico vehicular y por consiguiente el aumento de la contaminación del aire.

Ante esta situación la Municipalidad de Cuenca con el apoyo de la COSUDE Cooperación Suiza para el Desarrollo, a partir del año 2003, inicio una serie de estudios para determinar la principal fuente de contaminación del aire en la ciudad. Como resultado de estos estudios, la Municipalidad con el apoyo de organismos gubernamentales y no gubernamentales en el año 2005 constituyó la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca – CUENCAIRE, en diciembre del 2007 se instaló una red de **monitoreo pasivo** de la calidad del aire en la ciudad, y el 1ro de abril del 2008 entró en funcionamiento el sistema de Revisión Técnica Vehicular, el cumplimiento de este requisito es obligatorio para que un vehículo pueda circular en Cuenca. En diciembre del 2010 por cambios en las leyes de Ecuador la Corporación CUENCAIRE se disuelve y pasa a formar parte de la Empresa Pública de Movilidad (EMOV-EP) y las funciones de la red de monitoreo asume la Gerencia de Revisión Técnica Vehicular y Monitoreo de la Calidad del Aire.

Uno de los objetivos planteados por la Red de monitoreo fue adquirir con el apoyo del Ministerio de Ambiente una Estación Automática de Calidad del Aire y Meteorológica para la medición de calidad de aire ambiente con el objetivo de tener resultados a tiempo real.

El presente trabajo propone el diseño de un sistema de información geográfica para procesar datos meteorológicos y de contaminantes permitiendo la generación de estadísticas, determinar índices de calidad del aire ambiente, obtención de reportes, los mismos que servirán tanto a la ciudadanía como a las autoridades de turno para que puedan tomar medidas en caso de que el índice de calidad de aire se encuentre en un estado de emergencia.

El documento se encuentra organizado por seis secciones principales como son; sección 1: Introducción en donde detallo la formación de la empresa y el objetivo de la misma. En la sección 2 se define los objetivos, en la sección 3 se detallan los fundamentos teóricos necesarios para comprender de mejor manera el contexto del presente trabajo, en la sección 4: se detalla la metodología utilizada para el análisis y diseño del proyecto. En la sección 5 defino las conclusiones y resultados para finalizar en la sección 6 presento las recomendaciones.

2. OBJETIVOS

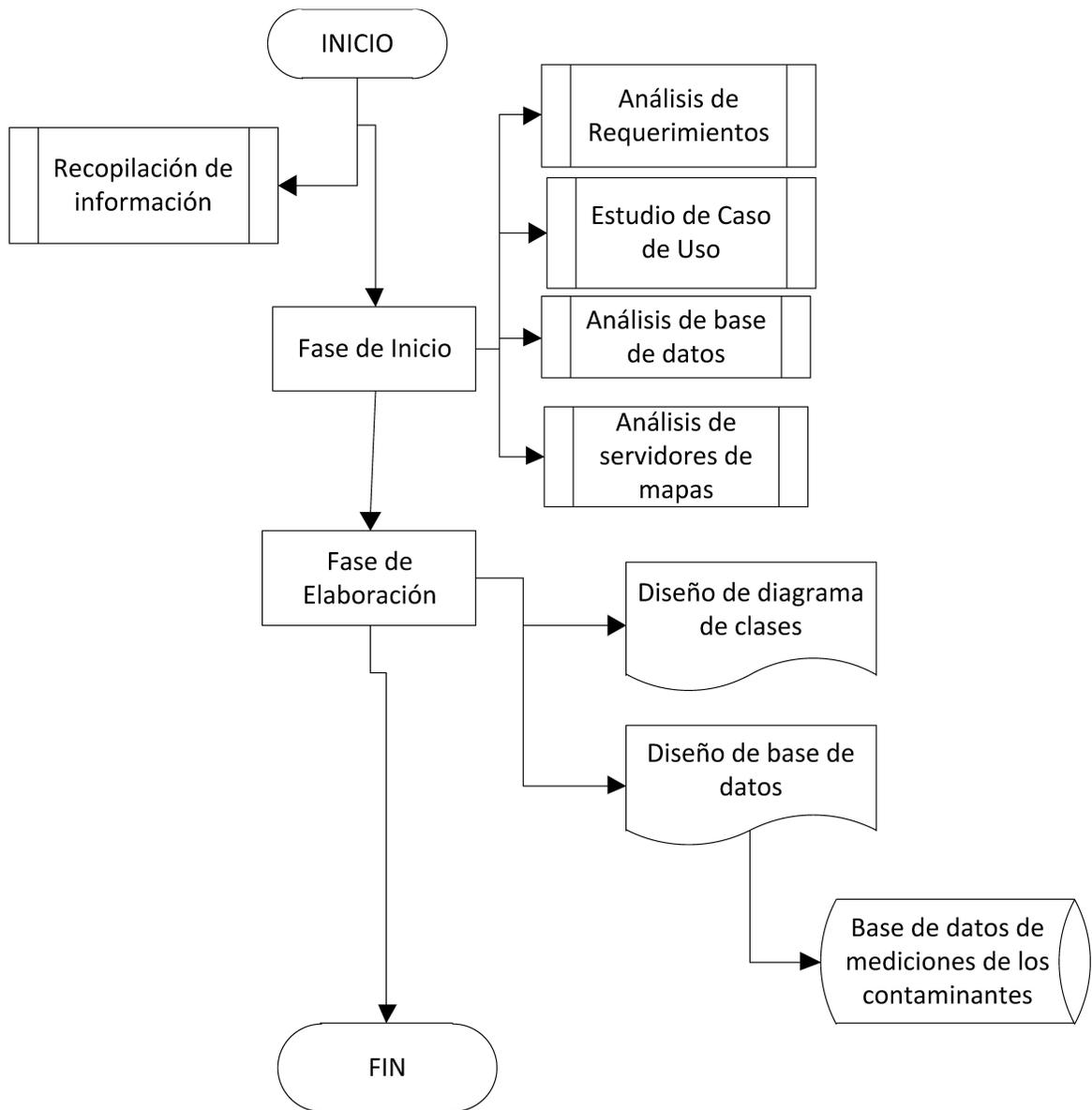
2.1 Generales

- Generar índices de los diferentes contaminantes
- Generar mapas para dar a conocer a la ciudadanía los niveles de contaminación de la Ciudad
- Apoyar la toma de decisiones ambientales basados en diferentes reportes, como por ejemplo: índices de contaminantes, zonas más afectadas por la contaminación.

2.2 Específicos

Metas	Criterios	Indicadores	Resultados
Integración del Sistema de Adquisición de Datos	Utilizar un datalogger para la colección de datos. Los datos serán validados según criterios emitidos por la US. EPA.	Los datos serán almacenados en la memoria interna del datalogger.	En la fase de prueba del funcionamiento de la estación automática los datos se han almacenado de forma correcta.
Recolección de los datos	Los datos serán recolectados en tiempo real.	Los analizadores automáticos deben estar en óptimo funcionamiento.	Todos los analizadores han sido probados, verificando su funcionamiento.
Análisis y diseño del Sistema de Información Geográfico	Cumplir con la metodología RUP	Análisis de requerimientos, Identificar actores Casos de Uso	Modelo de objetos de análisis. Diagrama de clases. Modelo de base de datos.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS DE INVESTIGACION



3. FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1 Contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos. Los principales elementos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que involucran combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa.¹

Los contaminantes atmosféricos se dividen en dos clases; primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre SO_2 , que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera, algunos contaminantes secundarios como el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_2 , el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO , y el ozono O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 .

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminación_atmosférica

3.2 Principales contaminantes

Entre los contaminantes más importantes se encuentran el dióxido de nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión (MP₁₀; MP_{2.5}), ozono troposférico (O₃), dióxido de azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO).

3.2.1 Dióxido de nitrógeno, NO₂

Gas de color pardo rojizo, altamente tóxico, que se forma debido a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.²

El NO₂ constituye un indicador de la contaminación debido al tráfico vehicular, generación eléctrica en centrales térmicas y combustión en industrias.

El NO₂ además de sus nocivos efectos sobre la salud es precursor de otros contaminantes como el material particulado, al inhalarse afectan al tracto respiratorio, la parte más profunda de los pulmones, impidiendo algunas funciones, como la respuesta inmunológica: produciendo una disminución de la resistencia a las infecciones.

3.2.2 Material particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera. Se designa como PM_{2.5} al material

² Concepto obtenido de la Norma de Calidad del Aire Ambiente de Ecuador

particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micrones. Se designa como PM_{10} al material particulado de diámetro menor a 10 micrones³.

El material particulado puede proceder de fuentes naturales y artificiales como por ejemplo la quema de combustibles fósiles generada por el tráfico vehicular. Los efectos sobre la salud se distinguen el material particulado PM_{10} como partículas “torácicos” que pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas, el material particulado respirable $PM_{2.5}$ pueden penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón.

3.2.3 Ozono troposférico (O_3)

El ozono en la troposfera a nivel de superficie, es un contaminante del aire que perjudica la salud de las personas, la vegetación y gran cantidad de materiales comunes. Es un potente agente oxidante que se forma mediante una compleja serie de reacciones fotoquímicas en las que participa la radiación solar, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (COVs).

El O_3 Puede provocar ataques más frecuentes en individuos con asma, causar irritación en los ojos, dolor pectoral, tos, náuseas, dolores de cabeza y congestión. Puede incluso empeorar las enfermedades del corazón, la bronquitis y enfisema pulmonar.

3.2.4 Dióxido de azufre (SO_2)

Gas incoloro e irritante formado principalmente por la combustión de combustibles fósiles⁴ como el carbón, gasolina y diesel y la fundición de minerales que contienen azufre.

³ Concepto obtenido de la Norma de Calidad del Aire Ambiente de Ecuador

⁴ Concepto obtenido de la Norma de Calidad del Aire Ambiente de Ecuador

El SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares causando además irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y de la bronquitis crónica. Aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio.

En combinación con el agua el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, provocando en parte lo que se denomina lluvia ácida, que produce la acidificación de lagos, ríos y mares; daños en la vegetación y deterioro de las superficies de los materiales, monumentos y edificaciones.

3.2.5 Monóxido de carbono (CO)

Gas incoloro, inodoro y tóxico producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles⁵.

El monóxido de carbono es un gas asfixiante químico, lo cual significa que reduce la habilidad de la sangre de transportar el oxígeno.

Cuando usamos combustibles (como la gasolina de los vehículos), producimos CO. Puede ser que respiremos altos niveles de CO en los alrededores de calles o intersecciones muy transitadas. Dentro de la casa, el CO puede provenir del horno, aparato de calefacción, de una chimenea donde se queme leña o del humo de un cigarrillo.

3.3 Red de Monitoreo de la Ciudad de Cuenca

Actualmente la red de monitoreo de la ciudad de Cuenca cuenta con 18 puntos de vigilancia distribuidos en diferentes sitios de la ciudad, estos sitios de emplazamiento de las estaciones cumplen con las recomendaciones de la US EPA (Agencia de Protección del

⁵ Concepto obtenido de la Norma de Calidad del Aire Ambiente de Ecuador

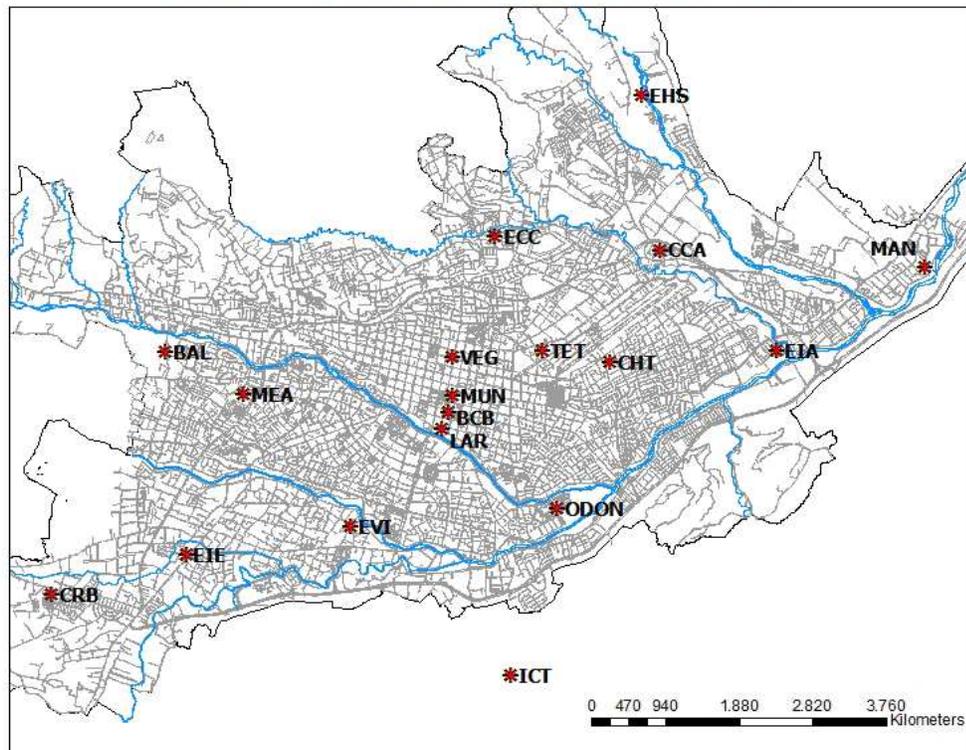
Medio Ambiente de Estados Unidos). En la Figura 1. se presenta la distribución espacial de los puntos de vigilancia.

La red de monitoreo incluye:

- Una subred pasiva de muestreo de contaminantes gaseosos en las 18 estaciones, la misma mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) en muestras expuestas de 10 a 12 días consecutivos, dos veces por mes; de ozono (O_3) en muestras expuestas 10 a 12 días consecutivos; dos veces por mes, dióxido de azufre (SO_2) en muestras expuestas durante 30 días consecutivos, una vez por mes.
- Una subred de depósito de Partículas Sedimentables (PS), con 15 puntos de medición.
- Una subred activa de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), conformada por 3 equipos semiautomáticos de alto volumen para la obtención de muestras durante 24 horas consecutivas de exposición; según lo establecido en la NCAA⁶.

⁶ ALCALDÍA DE CUENCA RED DE MONITOREO EMOV EP. Informe de la Calidad del Aire de Cuenca, 2010.

DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO PASIVO DE LA CIUDAD DE CUENCA



Código	Nombre	Dirección
CCA	Escuela Carlos Arizaga	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte
MUN	Municipio de Cuenca	Simón Bolívar y Presidente Cordova
EIE	Colegio Ignacio Escandón	Ave. Loja y Calle Ignacio de Rocha
MAN	Machángara	Jardines del Rio y Calle Londres
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Ave. Gonzales Suárez
EHS	Escuela Héctor Sempértegui	Camino a Ochoa León
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Av. Paseo de los Cañaris
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolia y Calle del Arpa
ODONT	Facultad de Odontología	Ave. Pasaje de Paraíso y Av. 10 de Agosto
EVI	Escuela Velazco Ibarra	Ave. Felipe II y Av. Isabel Católica
MEA	Feria Libre	Ave. R. Crespo y Av. De las Américas
BAL	Balzay	Ave. Ordoñez Lasso y Ave. Cerezos
CRB	Colegio Borja	Camino a baños
BCB	Estación de Bomberos	Presidente Cordova y Luis Cordero
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz



Leyenda	
*	tabla de coordenadas
	limite cuenca
	hidrografia
	trama urbana

Figura 1. Distribución espacial de los puntos de vigilancia de la red pasiva de monitoreo de Cuenca

Una de las actividades relevantes de la Red de Monitoreo durante el año 2010 fue la adquisición de una **estación automática de calidad del aire y de meteorología**, para la obtención de datos en tiempo real.

3.4 Estación Meteorológica Automática

Una estación meteorológica automática (E.M.A.), es una herramienta por la cual se obtienen datos de los parámetros meteorológicos leídos por medio de sensores eléctricos.

Las lecturas son preparadas para luego ser procesadas mediante la tecnología de microcontroladores o microprocesadores, y transmitidas a través de un sistema de comunicación en forma automática.

3.5 Estación automática de calidad del aire y meteorología de la Empresa Pública de Movilidad (EMOV EP) de Cuenca

La Empresa de Movilidad EMOV EP cuenta con una EMA⁷, estará ubicada en la terraza del predio de la Alcaldía, en la Calle Simón Bolívar y Borrero Esq., la misma cuenta con las siguientes unidades:

- Analizador de SO₂, marca API TELEDYNE
- Analizador de O₃, marca API TELEDYNE
- Analizador de CO, marca API TELEDYNE
- Analizador de NO_x, marca API TELEDYNE
- Analizador de PM_{2.5}, marca MET ONE
- Calibrador Dinámico de gases, marca API TELEDYNE
- Generador de aire cero capaz de generar aire libre de contaminación, para CO, O₃, NO_x, SO₂ e HCT (hidrocarburos totales), marca API TELEDYNE
- Datalogger ESC 8832 para uso de calidad del aire
- Estación Meteorológica VAISALA modelo MAWS100
- Tanque multigas de calibración para CO, SO₂ y NO

⁷ EMA siglas de Estación Meteorológica Automática

- Manifold, sistema de admisión completo de muestra, marca API TELEDYNE
- UPS de 3 KVA con banco externo para 2 horas de respaldo
- Aire acondicionado tipo Split de 12000 BTU

3.5.1 Detalle de los sensores de Estación

Es importante mencionar que todos los equipos adquiridos funcionan con métodos de medición referenciados por la USEPA y aceptados por la NCAA(Norma de Calidad del Aire Ambiente), igualmente los sensores meteorológicos cumplen con los requisitos que establece la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En la Tabla 1 se muestra una descripción de los elementos fundamentales de la estación automática.

Analizadores de la estación automática de calidad del aire y meteorológica



Analizador de dióxido de azufre (SO₂),

El analizador 100E API Teledyne está certificado por la EPA Norteamericana como método equivalente para la medición de SO₂ (EQSA-0495-100)



Analizador de O₃ (Ozono troposférico):

El analizador 400E API está certificado por la EPA Norteamericana con el método de referencia para la medición de ozono (EQOA-0992-087).



Analizador de CO (Monóxido de carbono):

El analizador 300E API Teledyne está certificado por la EPA Norteamericana con el método de referencia para la medición de CO (RFCA-1093-093).



Analizador de NO_x (Dióxido de nitrógeno): El analizador 200E API Teledyne está certificado por la EPA Norteamericana con el método de referencia para la medición de NO_x (RFNA-1194-099)



Analizador material particulado: El BAM 1020 consiste en tres componentes básicos, el detector/adquisidor, la bomba y la toma de muestras. Cada uno de estos componentes son independientes y pueden ser fácilmente desmontados para mantenimiento o reemplazo. El BAM 1020 está certificado por la EPA Norteamericana como método equivalente para la medición de partículas PM₁₀ (EQPM-0798-122).



Datalogger ESC 8832 para uso de calidad del aire: este es un dispositivo sofisticado y diseñado exclusivamente para adquisición, gestión y manejo de señales entregadas por los analizadores de gases, así como para tareas de validación y programación.



Estación Meteorológica VAISALA modelo MAWS100

Es un sistema compacto para monitoreo hidrometeorológico para aquellos casos en que se necesita una cantidad pequeña de sensores.

Tabla 1. Descripción de los elementos fundamentales de la Estación Automática

3.5.2 Integración del Sistema de Adquisición de Datos

Para la Integración del Sistema de Adquisición de Datos se utilizará como datalogger central el ESC 8832. Los datos colectados por los diferentes analizadores serán guardados

en la memoria interna del datalogger, estos datos serán validados de acuerdo a los criterios emitidos por la USEPA.

El sistema de telemetría más efectivo y económico es el Internet, puesto que el usuario puede mantener conexión constante con tarifa fija y velocidad suficientemente rápida para descarga de datos, con la posibilidad de mantener datos en línea de los parámetros tanto de calidad del aire como de meteorología, por ello se opta por utilizar este medio de comunicación entre la estación de monitoreo y el Centro de Control

La Figura 2. presenta el esquema de la recolección de datos:

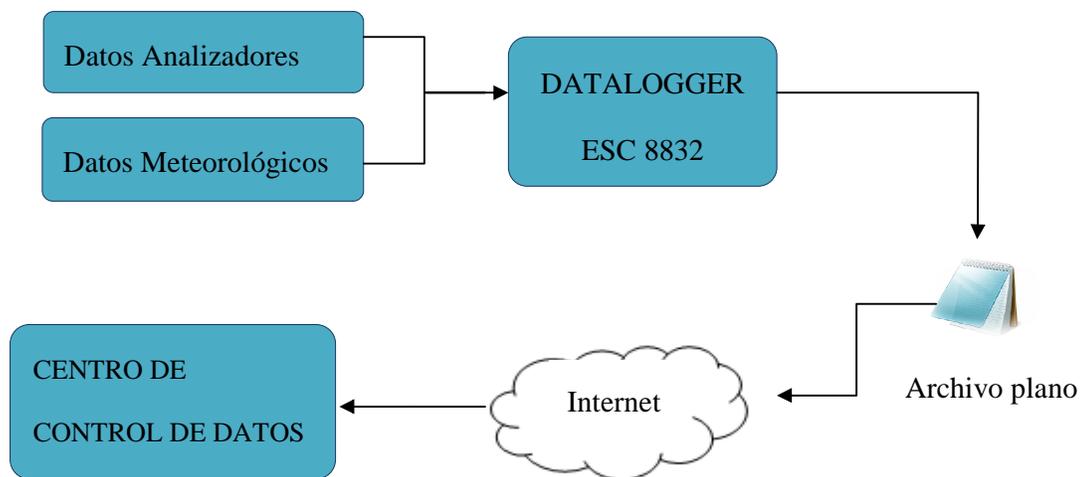


Figura 2. Esquema de la recolección de datos desde los analizadores

3.5.3 Centro de Control de Datos

El centro de control es el lugar en donde se gestionará los datos de la estación automática, estará formado por dos servidores, el primer servidor será para la recepción de los archivos de datos de las estaciones, la publicación de la página web para acceso de datos por parte de los ciudadanos, alojará una réplica de la base de datos del sistema la misma que será de

acceso solo lectura, con lo que asegura la información de la base de datos principal de ataques informáticos. El segundo servidor será para el acceso a través de la intranet de la empresa, en este servidor se alojará la base de datos principal del sistema, estará el aplicativo para la gestión del sistema, el aplicativo para el rastreo de archivos generados por las estaciones para su proceso, envío de las alarmas generadas, respaldo de los archivos planos que provienen de la estación automática.

La recepción de los datos generados por las estaciones será mediante ftp, la estación enviará archivos planos listos para ser procesados para la alimentación de la base de datos.

3.5.4 Proceso de recolección de datos

1. En cada una de las estaciones se recogen en tiempo real, mediante analizadores automáticos, los siguientes contaminantes:

- Partículas en suspensión de tamaño inferior a 2.5 micras (PM_{2.5}).
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Monóxido de carbono (CO).
- Ozono (O₃).

Además, los sensores meteorológicos registrarán los siguientes parámetros:

- Dirección y velocidad del viento.
- Precipitación.
- Humedad relativa.
- Temperatura.

- Radiación solar.
2. La estación dispone de un sistema de adquisición de los datos que generan los analizadores. En dicho sistema se registran, almacenan y envían los resultados al Centro de Control de Datos (CCD), situado en el edificio de la EMOV EP, mediante sistemas informáticos.
 3. En el CCD existe una red informática a la que llegarán los datos de la estación. Allí se procesan estos datos y se valida la información recibida.

Una vez obtenidos los datos de concentraciones de contaminantes de los sistemas de adquisición de datos de los analizadores, es preciso validarlos antes de su utilización ya que es necesario que la calidad de los datos sea buena para la realización de informes de calidad del aire, o como base para la predicción del comportamiento de los contaminantes en una zona determinada, entre otros posibles usos, dicha validación consiste en identificar y anular medidas no representativas de las condiciones reales. Se identifica al dato anulado con un carácter distintivo, asegurándonos la continuidad del dato recogido por si fuese necesario conservarlo en el futuro.

El sistema de recolección de datos asigna a cada valor recogido un carácter:

- T: Dato temporal.
- Z: Dato de calibración de cero.
- C: Dato de calibración de span
- M: Dato de mantenimiento.
- N: Dato no válido por causa desconocida (fuera de rango)

El sistema hace un primer filtro de los datos y los clasifica, detectando la mayoría que son anómalos. Los datos así marcados llegan al CCD (Centro de Control de Datos), donde se

realiza una revisión manual de los datos por un técnico (proceso de validación). Este proceso es necesario porque hay anomalías que el sistema informático no es capaz de detectar. Una vez validados, los datos "T" (temporales) que se acepten son marcados con una "V" (válidos), y los que se descartan son marcados con una "N" (nulos). La frecuencia de la validación es diaria, analizándose los datos recogidos el día anterior. Se validan datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas. Para un aumento de la eficacia en el proceso de validación, a ser posible, el personal encargado de la misma debe ser independiente de aquel encargado del mantenimiento y calibración de los equipos de medida, no obstante, debe haber comunicación entre ambos, que ayuden en un momento dado a ambos procesos.

4. Con los datos procesados se realizan los correspondientes informes.

En la Figura 3. presento el esquema operativo de funcionamiento de la Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire.

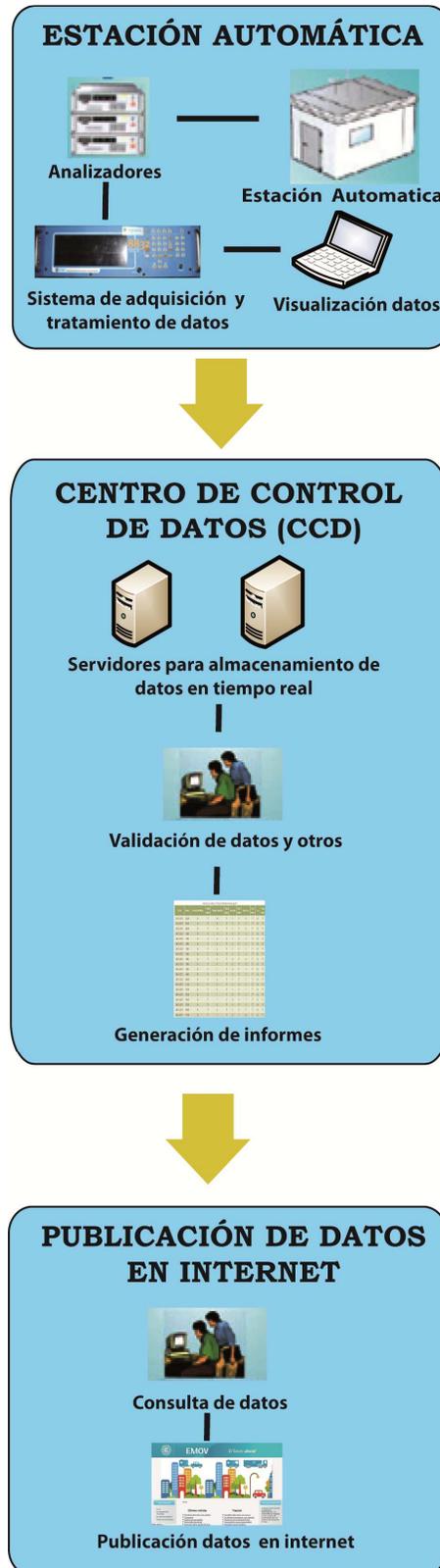


Figura 3. Esquema operativo de la Estación automática

3.6 Índice de Calidad del Aire

El Índice de Calidad del Aire es un indicador desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para reportar la calidad del aire y ayudar a entender lo que esto significa para la salud.

El índice se utiliza para reportar los cinco contaminantes del aire más comunes: Ozono (O_3) a nivel del suelo, Material Particulado (PM), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO_2) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2).

El índice de calidad del aire utiliza una escala de 0 a 500. Mientras mayor sea el valor del índice, mayor es el nivel de contaminación y mayor debe ser la preocupación por la salud. Un valor de 100 normalmente corresponde a la norma nacional establecida para proteger la salud del público. Los valores menores de 100 generalmente se consideran como satisfactorios, y los valores mayores de 100 representan niveles de contaminación no saludables. Los valores de 100 en adelante afectan a los grupos de población más sensitivos, y los valores de 150 en adelante afectan a la población en general.

En resumen el índice de calidad del aire está dividido en seis categorías de color. Cada categoría corresponde a un nivel distinto de preocupación por la salud. En la Tabla 2. se presenta el índice global de calidad del aire obtenido de la EPA.

ÍNDICE GLOBAL DE CALIDAD DEL AIRE

Valor del índice	Calidad del aire	Descripción efectos sobre la salud
 Verde 0 a 50	Buena	La calidad del aire se considera satisfactoria, y los niveles de contaminación representan muy poco o ningún riesgo.
 Amarillo 51 a 100	Admisible	La calidad del aire es pasable; sin embargo, para un número minúsculo de personas puede existir preocupación moderada por la salud.
 Naranja 101 a 150	Moderada	Los miembros de los grupos de población sensitivos pueden experimentar efectos de salud. Es poco probable que el público en general sea afectado cuando el AQI alcanza este rango.
 Rojo 151 a 200	Mala	El público en general puede experimentar efectos de salud. Los miembros de los grupos de población sensitivos pueden padecer efectos más serios.
 Púrpura 201 a 300	Muy Mala	Los niveles de contaminación dan origen a alertas de salud. La población entera puede padecer efectos de salud serios.
 Marrón mayor de 300	Peligrosa	Los niveles de contaminación causan condiciones de emergencia. La población entera tiene mayor posibilidad de ser afectada.

Tabla 2. Índice Global de Calidad del Aire.
Fuente [EPA 2003]

3.7 Métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente

De acuerdo con Norma de Calidad del Aire Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, establecen como contaminantes criterio del aire ambiente a los siguientes:

- Partículas Sedimentables

- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10(diez) micrones. Se abrevia PM_{10}
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrones. Se abrevia $PM_{2.5}$
- Dióxido de Nitrógeno NO_2
- Dióxido de Azufre SO_2
- Monóxido de Carbono CO
- Ozono O_3

En la

Tabla 3. detallo los métodos y procedimientos para determinar los contaminantes en el aire ambiente que serán medidos en la estación automática de la EMOV EP.

Métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente

Contaminante	Concentración máxima	Forma de medición
$PM_{2.5}$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	El promedio aritmético de la concentración de $PM_{2.5}$ de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado $PM_{2.5}$ cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO_2	$125\mu\text{g}/\text{m}^3$	La concentración de dióxido de azufre en 24 horas no deberá exceder ciento veinte y cinco microgramos por metro cúbico ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) El promedio aritmético de la concentración de SO_2 de todas las muestras en un año no deberá exceder de

		sesenta microgramos por metro cúbico ($60\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CO	$10000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$	La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año. La concentración máxima en 1 (una hora) de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico ($30000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año
O ₃	$100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$	La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$), más de una vez en un año
NO ₂	$200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$	El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ($40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ($200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 3. Métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente

Fuente: MINISTERIO DEL AMBIENTE

3.8 Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire

Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda la concentración establecida en la Tabla 4. o cuando se considere que las condiciones atmosféricas que se esperan sean desfavorables en las próximas 24 horas.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en 8 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material Particulado PM_{2.5} Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Tabla 4. Resumen de concentraciones máximas por contaminante

Fuente: MINISTERIO DEL AMBIENTE

3.9 Medidas a tomar en caso de alarmas

En la Tabla 5. se detalla las medidas a tomar cuando la calidad del aire se encuentra en niveles de alerta, alarma, emergencia.

NIVELES DE CALIDAD DE AIRE	MEDIDAS
ALERTA	<ul style="list-style-type: none"> • Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta. • Restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos
ALARMA	<ul style="list-style-type: none"> • Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma. • Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el

EMERGENCIA	<p>nivel de alarma.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Informar al público del establecimiento del Nivel de Alerta. • Prohibir la circulación y estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental
------------	---

Tabla 5. Medidas a tomar en caso de alarmas

Fuente: MINISTERIO DEL AMBIENTE 04 abril de 2011

3.10 Sistema de Información Geográfico

“Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”⁸

Pienso que además de estos componentes se necesita expertos/personas ya que un SIG requiere de un equipo de expertos para tomar decisiones y para controlar los procesos.

Un SIG permite la interconexión de diferentes elementos formando una red completa de datos con la cual se puede modelar la realidad, proyectar el posible impacto y con esta información facilitar a la Toma de Decisiones, es por ello que las temáticas que pueden abordar un SIG dependen de la necesidad del usuario final.

⁸ Definición redactada por el NCGIA (*National Centre of Geographic Information and Analysis*), 1990

La implementación de un SIG permite organizar la información que no realiza un mapa gráfico, el uso de mapas tradicionales no brindan las opciones que permite un mapa digital, pero esto a su vez involucra importantes inversiones de capital referentes a la conversión de datos, software, hardware, y capacitación.

3.10.1 Beneficios

Los beneficios que un Sistema de Información Geográfico puede tener en la ciudadanía en general son:

- Eficiencia, Ya que ahorra tiempo en la toma de decisiones que manualmente serían largos y molestos.
- Adaptabilidad, debido a que dado un mapa base se pueden agregar más datos o nuevas capas al sistema.
- Integración de Datos, permite el uso de información geográfica y alfanumérica en la aplicación.
- Compatibilidad, con sistema operativo y base de datos relacional

3.10.2 Evaluación de casos de uso de GIS

Los estudios y proyectos medioambientales, han cobrado una nueva dimensión con la integración de tecnologías y el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La utilización de un Sistema de Información para estudios medioambientales supone un gran progreso en lo que se refiere a tiempo de desarrollo y calidad de la información obtenida. Los SIG permiten modelar situaciones reales para la elaboración de sistemas inteligentes y capaces de dar apoyo a la gestión ambiental.

Los casos de uso más comunes son: monitoreo del medio ambiente: agua, suelo, vegetación y estudio de calidad de agua y aire, evaluación y control de la contaminación.

4. METODOLOGÍA

El Proceso Unificado Racional (Rational Unified Process en inglés, habitualmente resumido como RUP) es un proceso de desarrollo de software y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado UML, constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos. El presente trabajo cubre los siguientes aspectos: análisis de requerimientos funcionales y no funcionales, identificación de actores, usuarios que intervendrán en el manejo del sistema, identificación de escenarios, identificación de casos de uso, modelo de análisis, representación casos de uso, modelo de objetos de análisis, diagrama de clases, diccionario de datos, modelo de base de datos, análisis del servidor de mapas MapServer para la publicación de los mismos en Internet.

4.1 Análisis de Requerimientos

La obtención de requisitos se enfoca en la descripción del propósito del sistema. El cliente, los desarrolladores y los usuarios identifican un área problema y definen un sistema que resuelve el problema, en resumen la obtención de requerimientos y el análisis se enfocan sólo en la visión del sistema que tiene el usuario. Dentro de la etapa de análisis de requerimientos existe dos tipos; requerimientos funcionales y no funcionales.

4.1.1 Requerimientos funcionales

Describen las interacciones entre el sistema y el usuario o cualquier otro sistema externo, en forma independiente a su implementación. La captura de requisitos funcionales, se realiza gracias a los casos de uso. Constituyen una descripción de las características funcionales que se espera que tenga el sistema, es decir las acciones que se espera que este automatice. A continuación describo los requerimientos funcionales del sistema:

- Generación de un archivo de texto con las mediciones de los diferentes contaminantes
- Leer el archivo de texto, procesar la información
- Almacenar los datos del archivo en la base de datos
- Generar informes por fecha
- Generar índices por contaminante
- Generar mapas de los índices
- Subir la información al portal web
- Reporte de las mediciones de calidad del aire en línea
- Seguimiento histórico de las mediciones de calidad del aire
- Controlar el tipo de usuario que acceda a la información

4.1.2 Requerimientos no funcionales

Describen atributos sólo del sistema o del ambiente del sistema que no están relacionados directamente con los requisitos funcionales. Los requisitos no funcionales incluyen restricciones cuantitativas, como el tiempo de respuesta o precisión, tipo de plataforma (lenguajes de programación y/o sistemas operativos, etc.). A continuación se describen los procedimientos no funcionales a nivel de hardware y software.

Hardware

Para el centro de control de datos se necesita dos equipos que serán los servidores utilizados para gestionar los datos de la estación automática de monitoreo

Las características mínimas e ideales que deben tener los servidores se resumen en la Tabla 6 .

Item	Descripción Mínima	Descripción Ideal
Procesador	2 Core 2.2 Ghz	4 Core de 2.5 Ghz
Memoria RAM	4 GB	8 GB
Disco	500 GB con RAID 0 via hardware (servidor 1), 500 GB (servidor 2)	1TB con RAID 0 via hardware (servidor 1), 1TB (servidor 2)
Tarjeta de red	2 interfaces Gigabit Ethernet	4 interfaces Gigabit Ethernet

Tabla 6. Resumen de los requisitos de hardware para el centro de control

Software

- El sistema operativo de los servidores será Open Suse 11.4 de 64 bits
- Base de datos MySql Server
- Software AIRVISION, software propio de la estación automática.
- GenexusX para generar la aplicación que se encarga de procesar el archivo plano y almacenar los datos en la Base de datos
- MapServer para publicación de los mapas en la Web
- Herramientas SIG (ArcGis, gvSIG...etc)

4.2 Identificación de actores

Los actores representan a cada tipo de usuario, también representan a sistemas externos que interactúan con el sistema local. El sistema controlará el tipo de usuario que acceda a la información, estos usuarios pueden ser:

- Usuario Administrador de la aplicación.
- Usuarios Navegantes de Internet.



Administrador

Es la persona encargada del mantenimiento del sistema, mantenimiento de usuarios. Puede administrar toda la información de la base de datos.



Navegante de Internet

Es la persona que puede visualizar información generada y procesada de calidad del aire. Puede ser la ciudadanía o usuarios internos de la empresa.

4.3 Identificación de escenarios

Escenario: Visita al Sitio de información de calidad del aire

Escenario: Usuario Navegante de Internet

Escenario: Usuario Administrador

4.4 Identificación de casos de uso

Un caso de uso es una secuencia de acciones que el sistema lleva a cabo para ofrecer algún resultado de valor para un actor. Para identificar los casos de uso, se realizara la búsqueda por actor. Según cada actor defino los posibles casos de uso que él pueda tener.

Escenario: Visita al Sitio de información de calidad del aire

- El sistema presenta la pantalla de inicio del sitio web
- El sistema muestra la opción Red de Monitoreo

- El sistema identifica el tipo de usuario y activa el modo de navegación
- El sistema espera a que navegue el usuario

Escenario: Usuario Navegante de Internet

- El sistema presenta el link Red de Monitoreo
- El sistema presenta las capas del mapa de la ciudad de cuenca con los puntos de monitoreo pasivo
- El sistema espera a que el usuario interactúe con el mapa
- El usuario selecciona el criterio de búsqueda (por contaminante, fecha)
- El sistema genera la información solicitada según el criterio de búsqueda

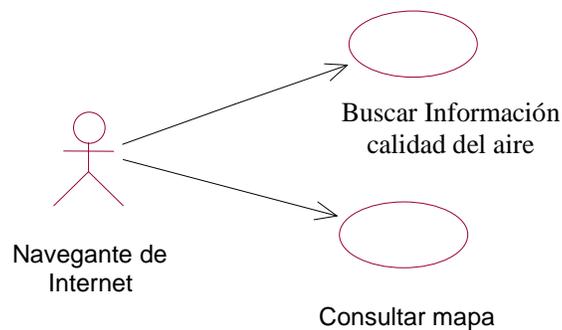


Figura 4. Escenario Navegante de Internet

Escenario: Usuario Administrador

- El sistema pide al usuario que ingrese el nombre de usuario y la clave
- El usuario ingresa su nombre de usuario y su clave
- El sistema valida el nombre de usuario y la clave
- El sistema identifica el tipo de usuario y activa el modo mantenimiento y visualización

Modo Mantenimiento

- El sistema presenta las opciones de mantenimiento de contaminantes, mantenimiento de concentraciones, etc. Cada una de estas opciones de mantenimiento consta de las operaciones de ingreso, modificación, eliminación y listado. Se especificarán solamente las operaciones del mantenimiento de contaminantes, ya que dichas operaciones siguen el mismo procedimiento para el resto de mantenimientos.

Ingresar

- El administrador selecciona ingreso contaminantes
- El sistema presenta el formulario de ingreso de datos de contaminantes
- El usuario ingresa los datos requeridos
- El sistema valida los datos ingresados
- El sistema acepta los datos y los almacena en la base de datos

Modificar

- El usuario selecciona modificar contaminantes
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados
- El usuario selecciona un contaminante de la lista presentada
- El sistema muestra los datos del contaminante seleccionado
- El usuario cambia los datos
- El sistema valida los datos y los almacena en la base de datos

Eliminar

- El usuario selecciona eliminar
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados
- El usuario selecciona un contaminante de la lista presentada

- El sistema elimina el registro del contaminante seleccionado en la base de datos

Listar

- El usuario selecciona mantenimiento
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados

Modo de Visualización

- El usuario selecciona el modo visualización
- El usuario selecciona el criterio de búsqueda de los diferentes datos meteorológicos
- El sistema presenta la información encontrada según el criterio de búsqueda
- El usuario selecciona ver mapa
- El sistema presenta el mapa
- El sistema espera a que el usuario interactúe con el mapa

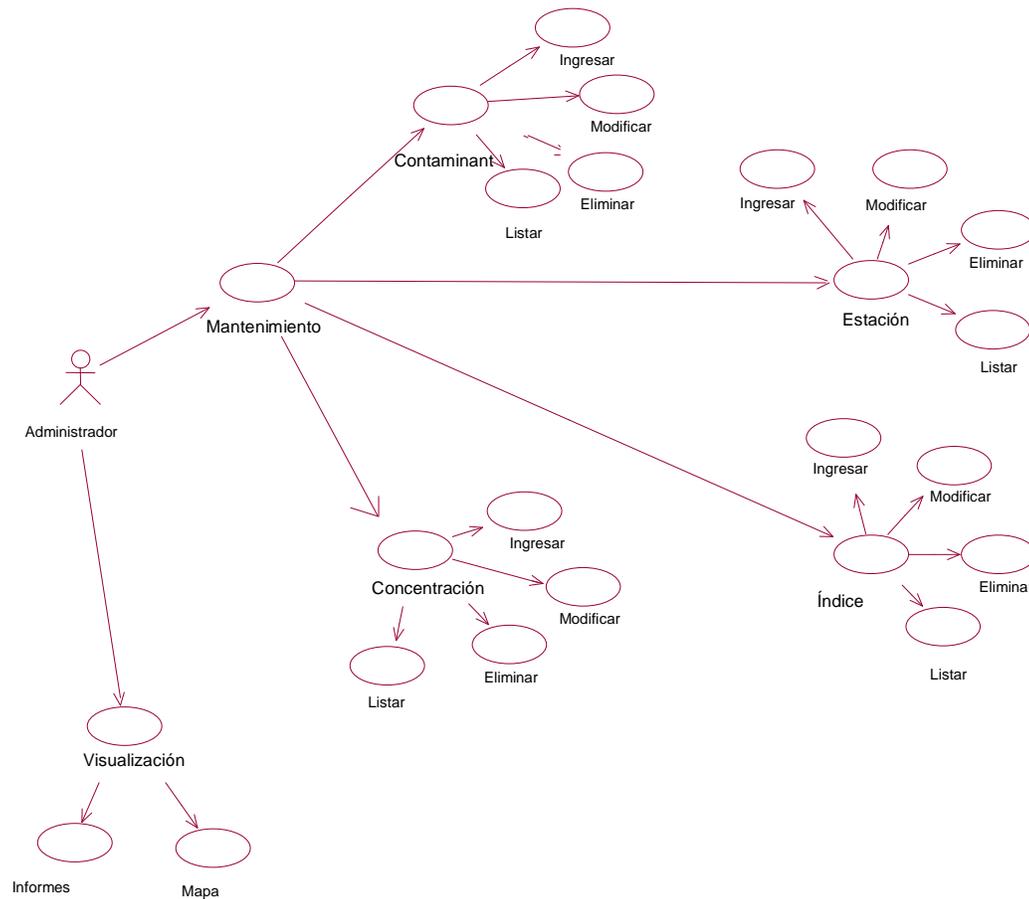


Figura 5. Escenario Administrador

4.5 Modelo de análisis

En la fase de análisis se refinaron los casos de uso con más detalle y se estableció la asignación inicial de funcionalidad del sistema a un conjunto de objetos que proporcionan el comportamiento.

4.6 Representación casos de uso

Mediante los casos de uso se describen las diferentes situaciones que se presentan en el sistema a través de escenarios. A continuación se describen los casos de uso del sistema.

CU1: Visita al Sitio de calidad del aire Navegante de Internet

- El sistema presenta la pantalla de inicio del sitio web
- El sistema muestra la opción Red de Monitoreo
- El sistema identifica el tipo de usuario y activa el modo de navegación
- El sistema espera a que navegue el usuario

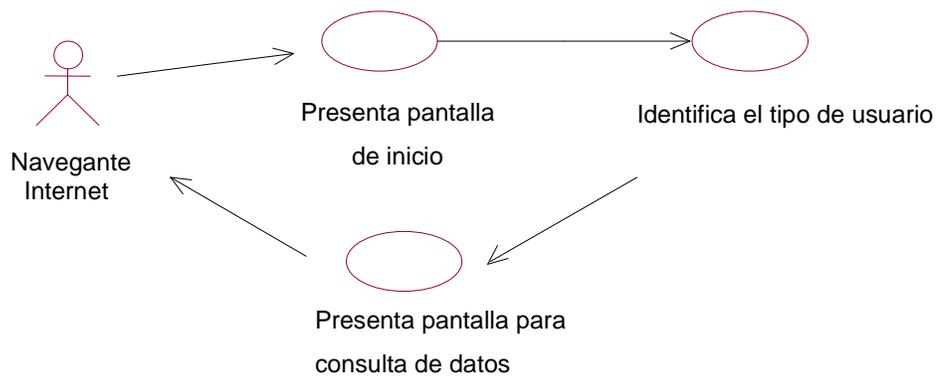


Figura 6. CU1: Visita al Sitio Servidor de Mapas Navegante de Internet

CU2: Visita al sitio de Calidad del Aire usuario Administrador

- El sistema pide al usuario que ingrese el nombre de usuario y la clave
- El usuario ingresa su nombre de usuario y su clave
- El sistema valida el nombre de usuario y la clave
- El sistema identifica el tipo de usuario y activa el modo mantenimiento y visualización

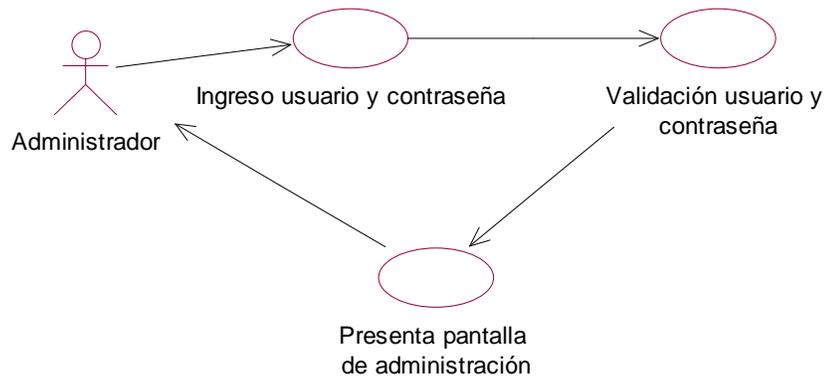


Figura 7. CU2: Visita al Sitio Servidor de Mapas Administrador

CU3: Ingreso datos contaminantes

- El administrador selecciona ingreso contaminantes
- El sistema presenta el formulario de ingreso de datos de contaminantes
- El usuario ingresa los datos requeridos
- El sistema valida los datos ingresados
- El sistema acepta los datos y los almacena en la base de datos

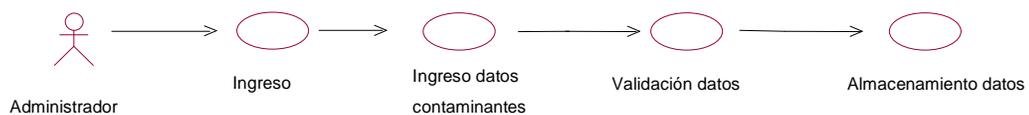


Figura 8. CU3: Ingreso datos contaminante

CU4: Modificación datos contaminante

- El usuario selecciona modificar contaminantes
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados
- El usuario selecciona un contaminante de la lista presentada
- El sistema muestra los datos del contaminante seleccionado
- El usuario cambia los datos

- El sistema valida los datos y los almacena en la base de datos

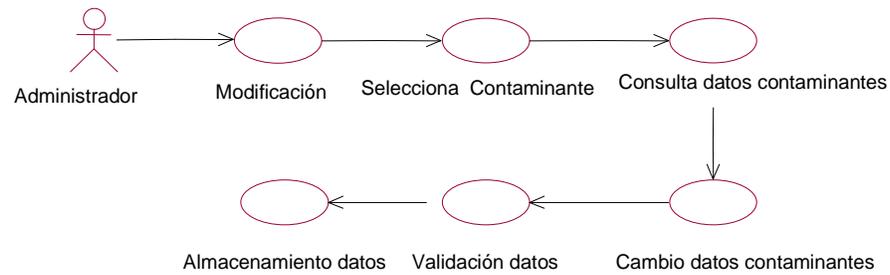


Figura 9. CU4: Modificación datos contaminante

CU5: Eliminación datos contaminantes

- El usuario selecciona eliminar
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados
- El usuario selecciona un contaminante de la lista presentada
- El sistema elimina el registro del contaminante seleccionado en la base de datos



Figura 10. CU5: Eliminación datos contaminantes

CU6: Listar datos contaminantes

- El usuario selecciona mantenimiento
- El sistema presenta la lista de todos los contaminantes ingresados



Figura 11. CU6: Listado Contaminantes

4.7 Modelo de objetos de análisis

En el modelo de objetos se definen las clases y sus relaciones.

4.8 Diagrama de clases

Las clases son los sustantivos que se describieron en los casos de uso. Se debe seleccionar solo las clases importantes del sistema, eliminando las clases redundantes e irrelevantes.

Al inicio del análisis se identifican las clases del sistema, y se las expresa ya no en términos descriptivos sino mediante diagramas de diseño. Una clase define atributos, aunque estos atributos son conceptuales y reconocibles en el dominio del problema, mientras que los tipos de los atributos de las clases de diseño y la implementación suelen ser tipos de lenguajes de programación. En el presente trabajo se definieron las siguientes clases:

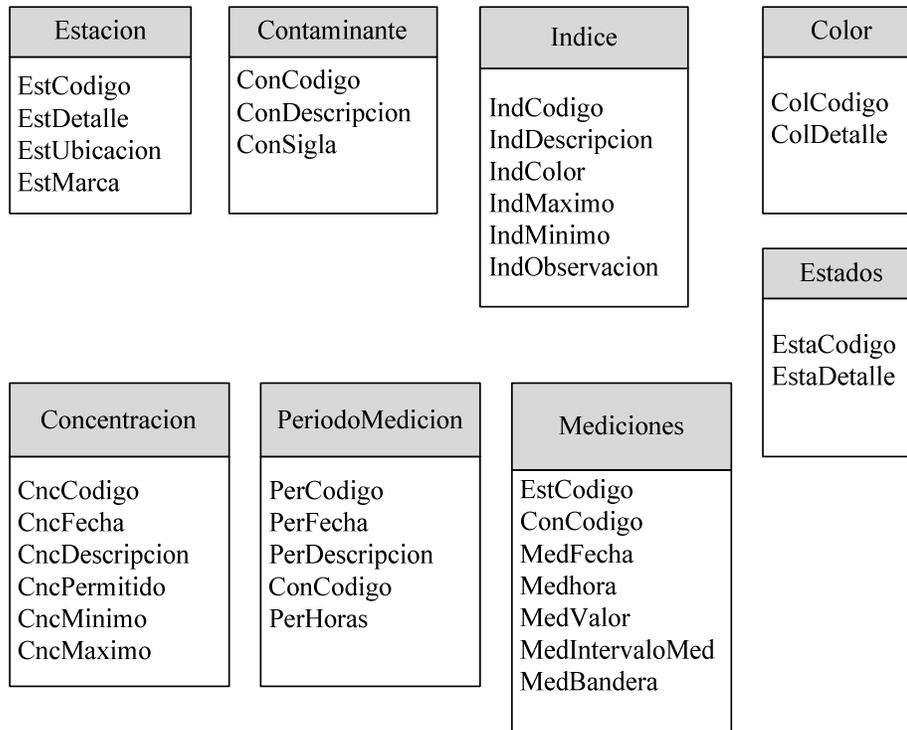


Figura 12. Diagrama de Clases

4.9 Diccionario de datos

Estación: Almacenará información de la Estación de monitoreo de la calidad del aire y meteorológica.

Contaminante: Esta clase maneja los contaminantes del aire más comunes como son: Ozono (O₃) a nivel del suelo, Material Particulado (PM), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

Índice: El Índice de Calidad del Aire es un indicador desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency) para reportar la calidad del aire y ayudar a entender lo que esto significa para la salud. El índice

de calidad del aire está dividido en seis categorías de color. Cada categoría corresponde a un nivel distinto de preocupación por la salud.

Concentración: se refiere a la cantidad normal y a la máxima permitida de los contaminantes antes mencionados.

Periodo Medición: Cada contaminante tiene su periodo de medición en horas

Mediciones: son los valores que medirán los analizadores de cada contaminante durante un cierto periodo de tiempo.

Color: Almacenara una lista de colores, utilizados para el índice de calidad del aire.

Estados: Esta clase hace referencia al estado de los índices de calidad del aire, como son bueno, moderado, inadecuado etc...

4.10 Modelo de Base de Datos

En el modelo de Base de datos definiré dos puntos importantes el análisis y el diagrama de la base de datos.

4.10.1 Análisis de base de datos

Se necesita almacenar información de las mediciones de los diferentes contaminantes, cada cierto período de tiempo, para esto es necesario conocer los métodos y procedimientos para determinar las concentraciones de los mismos.

Para el monóxido de carbono y el ozono es necesario calcular y almacenar el dato de la concentración en el promedio en 8 horas. Para el dióxido de nitrógeno se calcula la concentración promedio en una hora, y para el dióxido de azufre y el material particulado se calcula y almacena la concentración promedio en veinticuatro horas.

Se debe almacenar la información de la estación automática, ubicación, marca, código estación.

4.10.2 Diagrama de base de datos

A continuación presento el diagrama de la base de datos obtenido del análisis anterior:

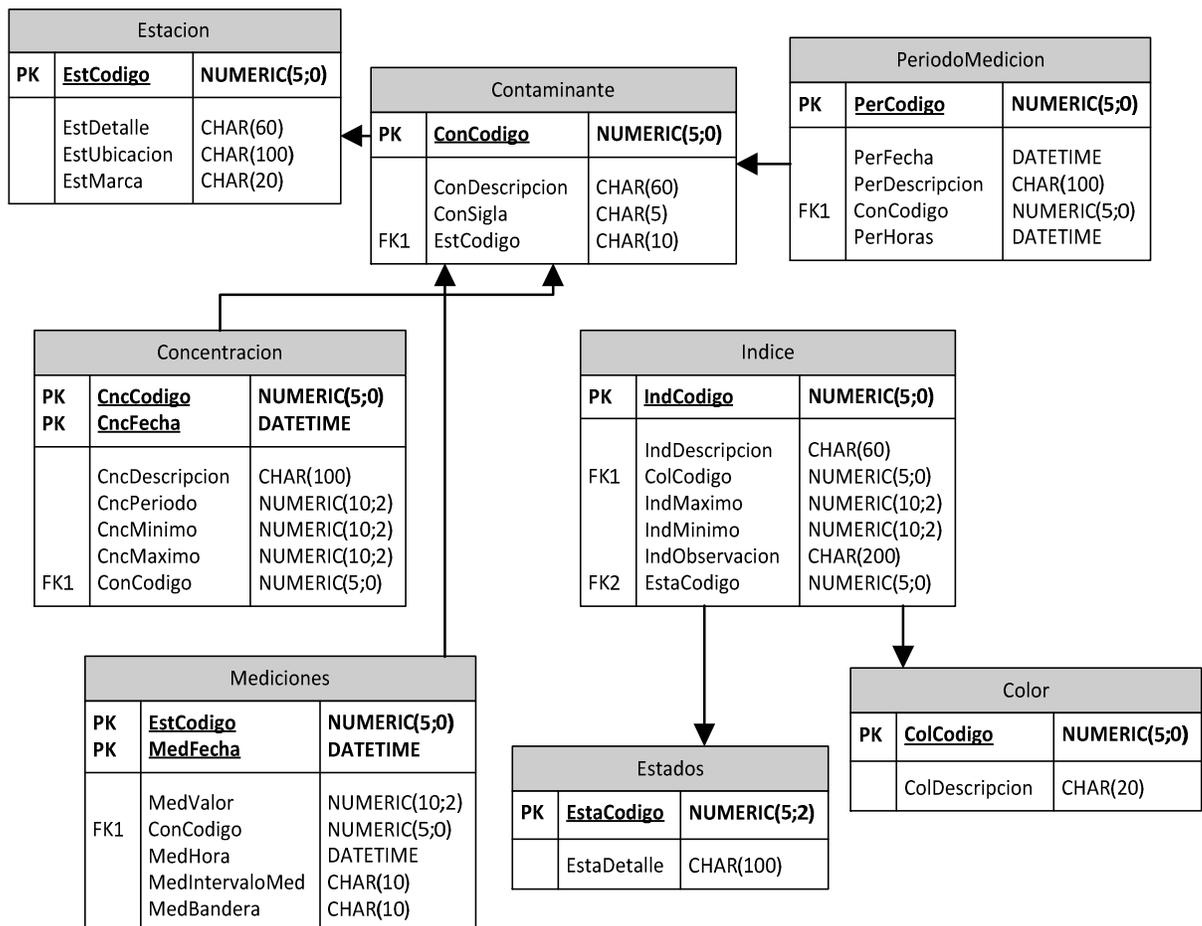


Figura 13. Diagrama de Base de Datos

4.11 Análisis de servidores de mapas

Para la implementación del portal de Calidad del aire en la parte de distribución geográfica de los contaminantes, puntos etc., es necesario utilizar un servidor de mapas para la publicación y manejo de los datos, para lo cual he investigado el uso de la herramienta MapServer, y el entorno Chamaleon, basado en la tecnología Web Mapping Services (WMS) de código abierto y compatible con los estándares del OpenGis Consortium (OGC).

Mapserver es una herramienta para construir aplicaciones que sirvan mapas a través de Internet, funciona como una aplicación Common Gateway Interface (CGI) de carácter libre que corre bajo plataformas Linux o Windows.

En la aplicación utilizaría la plataforma Linux, ya que es el sistema operativo que se usará en los servidores del Centro de Control de Datos.

4.11.1 Funcionamiento de Mapserver

El proceso básico de funcionamiento de MapServer consiste en que el servidor recibe una petición de un usuario a través de la interfaz de usuario que se le envía al cliente, ya sea para presentar un mapa o realizar alguna acción sobre uno ya existente. Una vez hecha la petición, utilizando la información geográfica que se encuentra en la Base de Datos y un archivo de configuración (mapfile) que indica que capas debe presentar y de qué forma, se genera un nuevo mapa. Luego utilizando una plantilla de página web, resuelve la petición retornando una página web y la imagen del mapa (imagen estática de tipo JPEG, GIF, PNG). El siguiente gráfico representa el esquema de funcionamiento de mapserver:

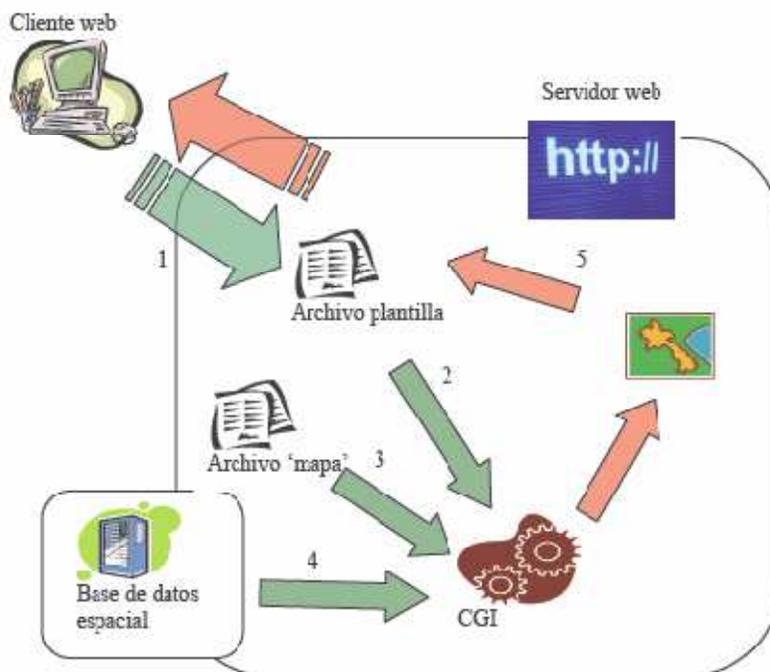


Figura 14. Funcionamiento de Mapserver
Fuente: [INTRODUCCIÓN A MAPSERVER]

4.11.2 Componentes de la Aplicación con Mapserver

El CGI de mapserver necesita algunos componentes para poder publicar los mapas, para el caso de este sistema se utilizará los siguientes recursos:

- Servidor web http Apache o WebSphere instalado en el servidor de la EMOV EP
- Programa MapServer para publicar los mapas.
- Un archivo plantilla que controla la interfaz de usuario de la aplicación con MapServer en la ventana del explorador de Internet. Controla como saldrán los mapas y las leyendas desde MapServer hacia la página web.
- Una fuente de datos SIG, que provea la información cartográfica
- Un archivo mapfile (.map) que controla lo que mapserver hace con los datos, es el archivo básico de configuración de MapServer



Figura 15. Componentes de una aplicación Mapserver
Fuente: [INTRODUCCIÓN A MAPSERVER]

5. RESULTADOS

El resultado del presente trabajo es el documento del análisis y diseño del SIG, además del conocimiento (know how) de los procesos de recolección y transferencia de los datos que miden cada analizador de los diferentes contaminantes

Investigar los índices de calidad del aire de nuestro país, estudiar la Norma de calidad del aire.

Actualmente la Estación Automática se encuentra instalada, falta la adquisición de los Servidores y realizar el enlace para la transmisión de los datos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El parque automotor en la ciudad de Cuenca cada año va en aumento, por lo que los niveles de contaminación seguramente también aumentarán, pienso que como ciudadanos debemos evitar el abuso del vehículo y utilizarlo cuando realmente sea necesario.

Mediante la instalación y funcionamiento de la Estación automática de calidad del aire y meteorológica se obtendrá datos en tiempo real, los mismos al procesados y ubicados dentro de los índices de calidad de aire servirán para que las autoridades tomen decisiones en caso de registrar alarmas por superar los límites permisibles.

No ha sido posible el desarrollo y la publicación de los datos ya que se encuentra en construcción la caseta en la cual funcionará la estación automática.

6.2 Recomendaciones

Recomiendo manejar los datos de forma espacial para conocer periódicamente las zonas afectadas por los contaminantes monitoreados, de esta manera se llevaría un control y se podría conocer la variación en los diferentes años monitoreados.

Sería de gran utilidad utilizar herramientas como ArcGIS para procesar los datos del monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca, ya que con los resultados obtenidos, la dirección podría tomar decisiones que vayan en beneficio de la ciudadanía.

7. BIBLIOGRAFÍA

[EPA 2003] *Air Quality Index: A Guide to Your Health* [en línea], United States, Environmental Protection Agency, August 2003, Disponible en Internet: www.epa.gov/airnow/aji_cl.pdf accedido el 20 de Septiembre 2011.

[EPA 2004] *Air Pollution from Nearby Traffic and Children's Health: Information for Parents* [en línea], United States, Environmental Protection Agency, Julio 2004, Disponible en Internet http://www.oehha.ca.gov/public_info/facts/pdf/Factsheetparent.pdf

[EPA] *Asthma And Outdoor Air Pollution* [en línea], United States, Environmental Protection Agency, EPA-452-F-04-002, Disponible en Internet http://www.epa.gov/airnow/health-prof/Asthma_Flyer_Final.pdf

[SINIA] *Temas ambientales, aire* [en línea], Sistema Nacional de Información Ambiental, Disponible en Internet <http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15480.html>.

[SINIA TERRITORIAL] *Mapa del control de la contaminación atmosférica* [en línea], Sistema Nacional de Información Ambiental, Control de la contaminación atmosférica, Disponible en Internet http://territorial.sinia.cl/ficha/ficha.php?accion=ficha&o_id=2150

GARCÍA PÉREZ, José Carlos, *La calidad del aire en el término municipal de Valladolid* [en línea], Calidad del Aire 2001, Disponible en Internet <http://www10.ava.es/rccava/documentos/anual/Calidad2001.pdf>

[D. G. DEL MEDIO AMBIENTE] *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio* [en línea], Área de Calidad Atmosférica - Red de Calidad del Aire, Disponible en Internet http://gestiona.madrid.org/aireinternet/html/web/5.htm?ESTADO_MENU=5

[AIRVISION] *An Ambient Data Management System* [en línea], AirVision Documentation, Disponible en Internet en <http://www.airvisionsoftware.com/page/AirVision+Documentation>

[MAPSERVER] *The MapServer Team* [en línea], Open Source Web Mapping, MapServer Documentation Release 6.0.1, Disponible en Internet: <http://mapserver.org/MapServer.pdf>

[INTRODUCCIÓN A MAPSERVER] *Introducción a Mapserver* [en línea], Open Source Web Mapping, MapServer Documentation Release 4x, Disponible en Internet: http://idesc.cali.gov.co/download/curso_fundamentos_ide/10.Manual_PDF_MapServer.pdf
 ESPINOZA, Claudia. *Informe De Resultados De La Red De Monitoreo De Calidad Del Aire De Cuenca. Periodo 2008*. Cuenca –Ecuador 2009

ESPINOZA, Claudia. *Informe De Resultados De La Red De Monitoreo De Calidad Del Aire De Cuenca. Periodo 2009*. Cuenca –Ecuador 2010

ALCALDÍA DE CUENCA RED DE MONITOREO EMOV EP. *Informe de la calidad del aire, año 2010*. Cuenca –Ecuador 2011

CONAMA. *Elaboración de reglamentos y protocolos de procedimientos para el aseguramiento de la calidad del monitoreo de contaminantes atmosféricos*. CENMA. Chile, 2003.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Acuerdo Nro. 50 Norma de Calidad del Aire Ambiente*, Quito, abril 2011.

SOMMERVILLE, 2002, *Ingeniería de Software. 6ta. Edición*, Sommerville, Ian, Prentice-Hall, 2002.

8. GLOSARIO

- A -

AIRE: Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado, fino y etéreo, transparente en las distancias cortas y medias si está limpio.

- C -

CALIDAD DEL AIRE: es una indicación de cuanto el aire esté exento de contaminación atmosférica, y por lo tanto apto para ser respirado.

- E -

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas.

- I -

INDICE DE CALIDAD DEL AIRE: El Índice de Calidad del Aire utiliza un sistema codificado mediante colores para indicar cuándo la calidad del aire es peligrosa. Los colores verde y amarillo son aceptables, mientras que los colores naranja, morado o marrón indican que las personas deberían limitar el tiempo que permanecen al aire libre.

- O -

OPEN SUSE: es un programa comunitario a nivel internacional patrocinado por Novell que promueve el uso de Linux en todas partes. Proporciona acceso fácil y gratuito a openSUSE.

- N -

NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE: Las normas de calidad del aire tienen por finalidad proteger la salud de la población de la contaminación atmosférica. Estas establecen un nivel de riesgo socialmente aceptado. En abril del 2011 se modificó una parte de la Norma de calidad del aire ambiente de Ecuador.

- R -

RED PASIVA DE MONITOREO: La técnica de monitoreo pasiva o de difusión, consiste en una caja cerrada, generalmente cilíndrica. Uno de sus lados está expuesto al aire ambiente con el fin de que las moléculas de los gases crucen y se absorban en el extremo cerrado.

- S -

SERVIDORES: En informática, un servidor es una computadora que, formando parte de una red, provee servicios a otras computadoras denominadas clientes. Algunos servicios habituales son los servicios de archivos, que permiten a los usuarios almacenar y acceder a los archivos de una computadora y los servicios de aplicaciones, que realizan tareas en beneficio directo del usuario final.

SIG: Sistema de Información geográfica.

- T -

TELEMETRIA: es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.

- U -

USEPA: (United State Environmental Protección Agencia: Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo. La EPA desarrolla leyes federales sobre protección ambiental; registra y regula el uso de pesticidas; ejecuta normas relacionadas con la calidad del aire y del agua; y regula el emplazamiento de depósitos de residuos sólidos peligrosos.

9. ANEXOS / APÉNDICES

9.1 Detalle de los índices de calidad del aire y la salud

Índice	Ozono	Partículas Muy Pequeñas (PM _{2.5})	Partículas Pequeñas (PM ₁₀)	Monóxido de Carbono (CO)
<p>Pésimo ó Peligroso Mayor a 300</p> 	Niños y adultos y personas con males respiratorios deben evitar todo esfuerzo al aire libre, particularmente los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar toda actividad al aire libre; los demás deben evitar todo esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben evitar esfuerzos y las fuentes emisoras de CO, como el tráfico pesado.

Muy malo 201 a 300 	Personas con males respiratorios como el asma deben evitar los esfuerzos prolongados al aire libre; los demás, como los niños, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar los esfuerzos prolongados; los demás deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con problemas respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos moderados y evitar el tráfico pesado.
Malo 151 - 200 	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar los esfuerzos prolongados; los demás deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos moderados y evitar el tráfico pesado.
Moderado 101-150 	Las personas inusualmente sensibles deben considerar limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos intensos y evitar el tráfico pesado.
Admisible 51-100 	Personas sensibles deberían considerar limitar el esfuerzo prolongado al aire libre	ninguno	ninguno	ninguno
Buena 0-50 	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno

En la siguiente tabla describo las recomendaciones a seguir en caso de presentarse algún índice de calidad del aire.

Tabla 7. Recomendaciones en base al AQI de algunos contaminantes

9.2 Distribución espacial de las concentraciones de los diferentes contaminantes de la Red de Monitoreo Pasivo año 2009

A continuación presento la distribución espacial de las concentraciones de los promedios anuales de MP_{10} , SO_2 , NO_2 , en Cuenca año 2009.

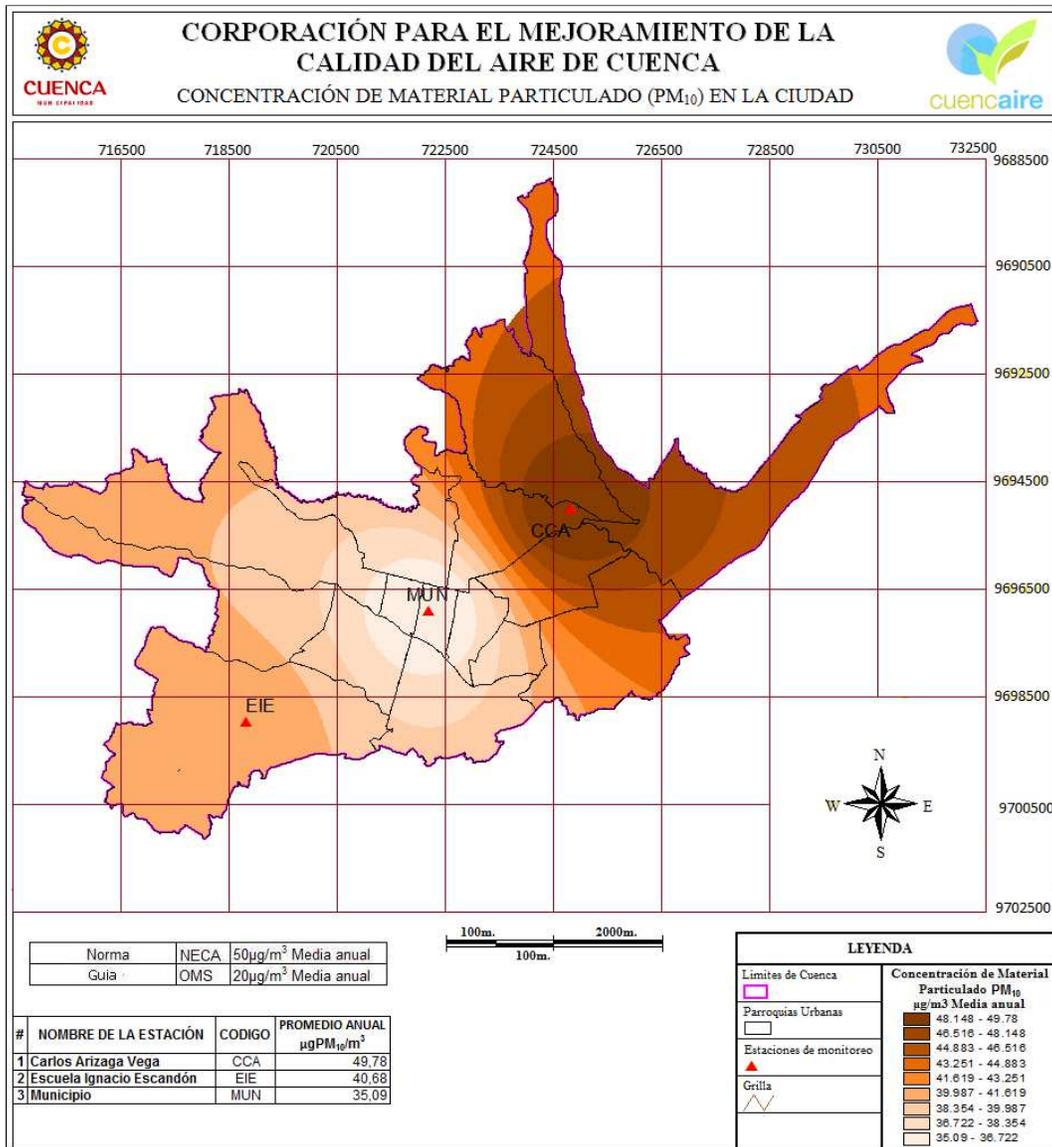


Figura 16. Distribución espacial de las concentraciones de los promedios anuales de MP10 en Cuenca año 2009

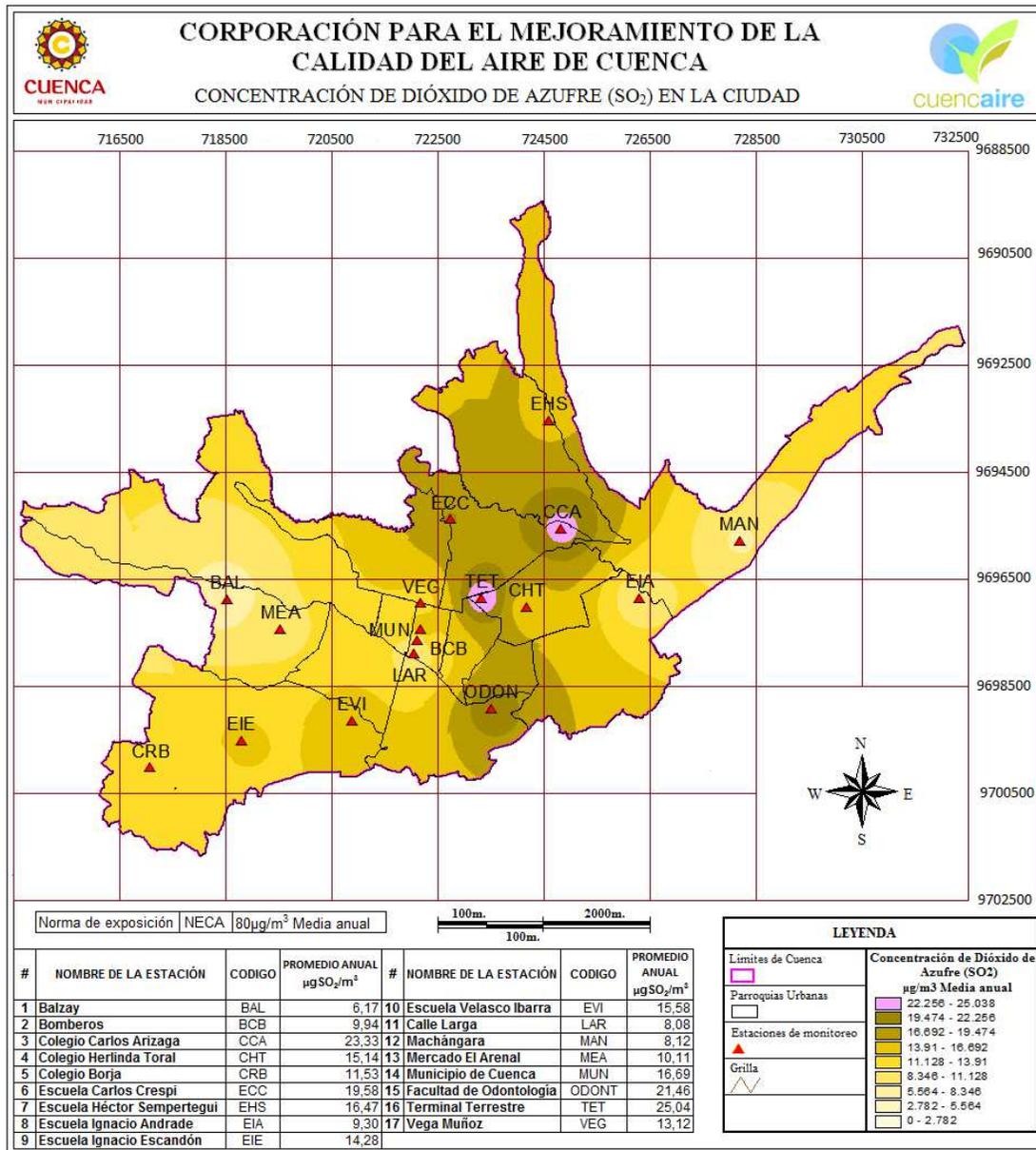


Figura 17. Distribución espacial de la concentración promedio anual de SO₂ en Cuenca año 2009

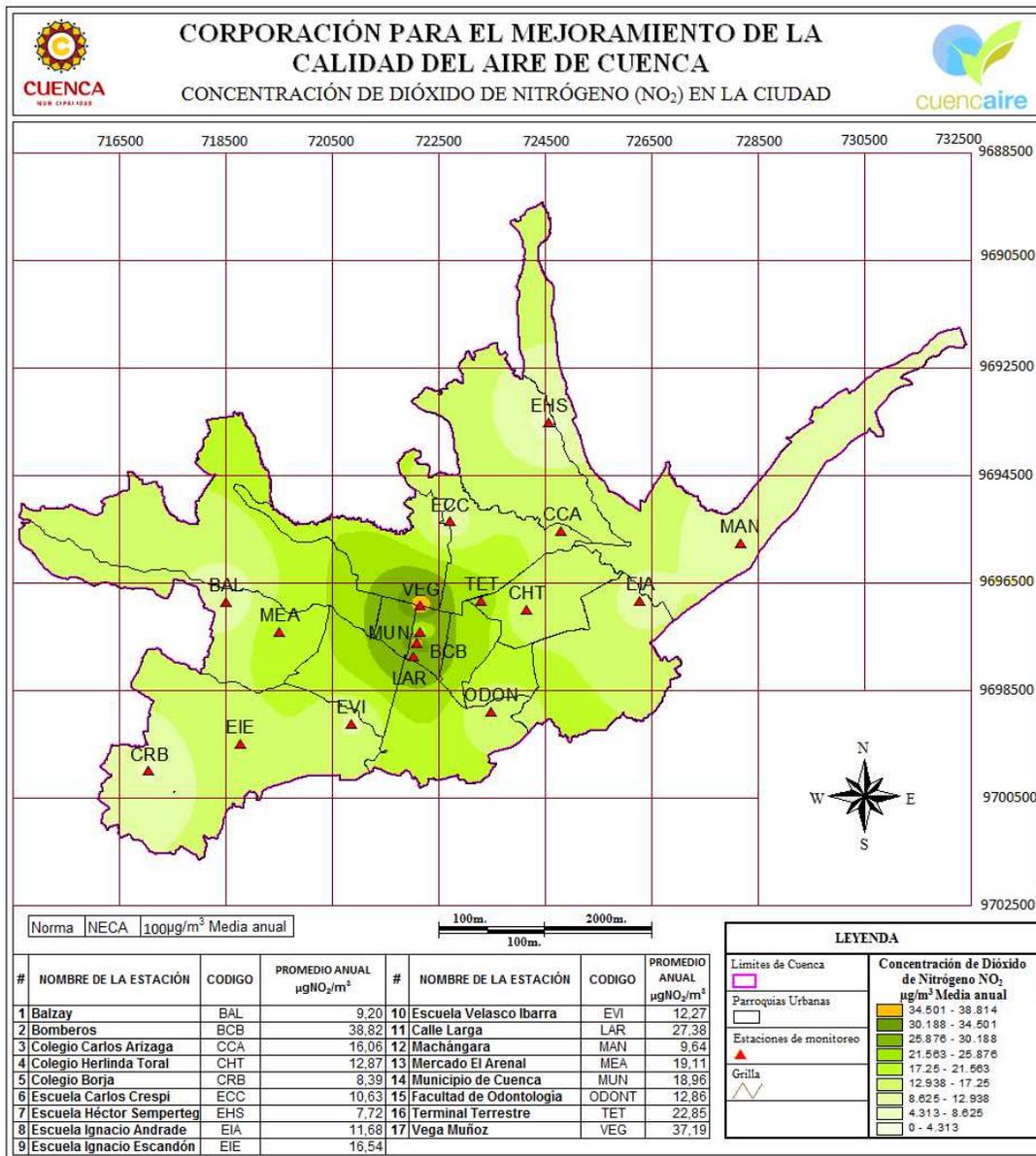


Figura 18. Distribución espacial de la concentración de NO₂, en Cuenca año 2009

9.3 Resultados de las mediciones de la Red de Monitoreo Pasivo año 2010

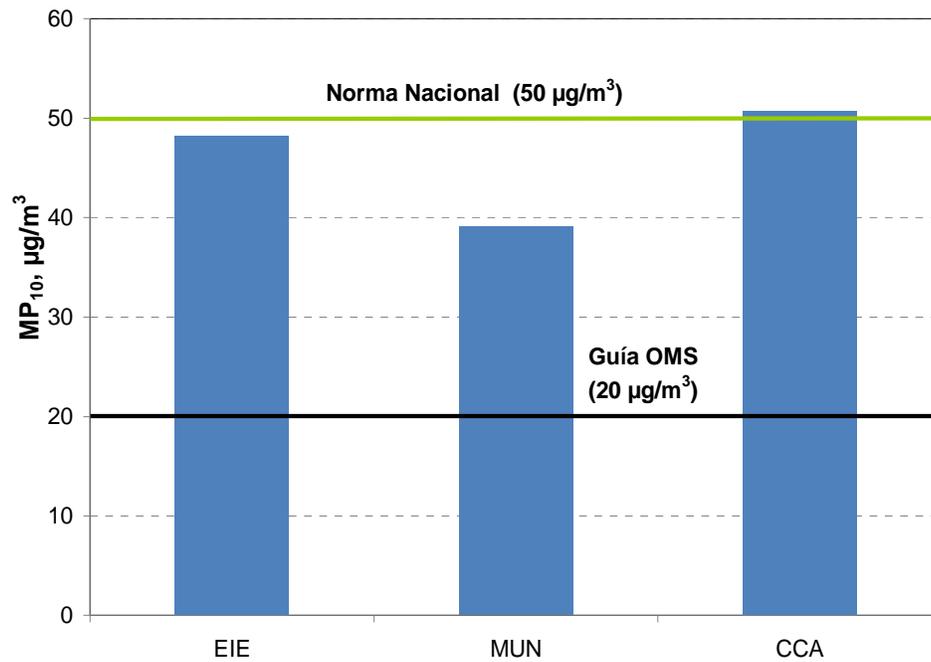


Figura 19. Promedio anual de las concentraciones de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2010

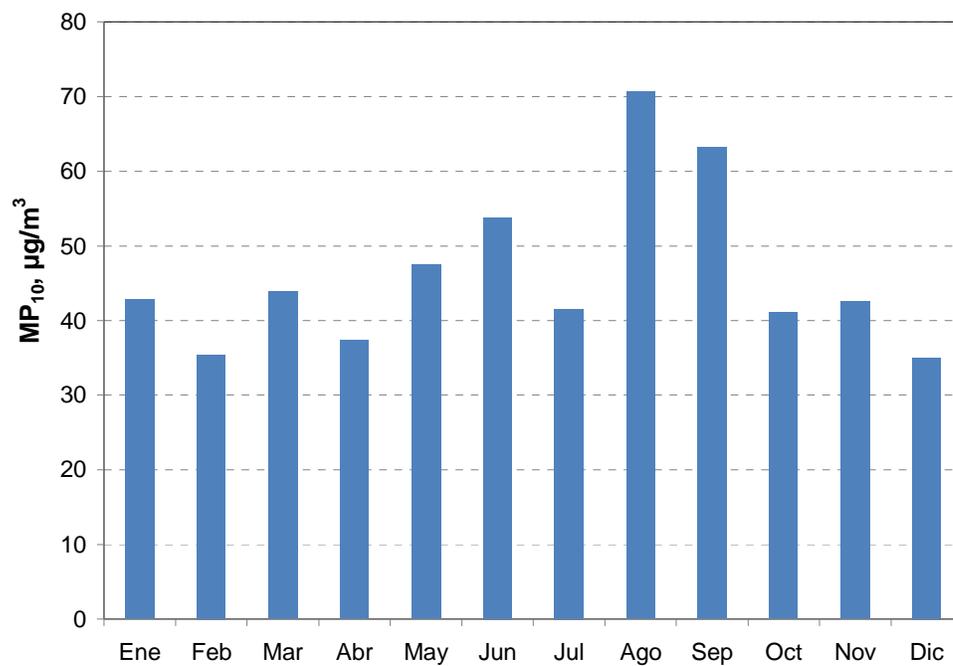


Figura 20. Concentraciones medias mensuales de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2010

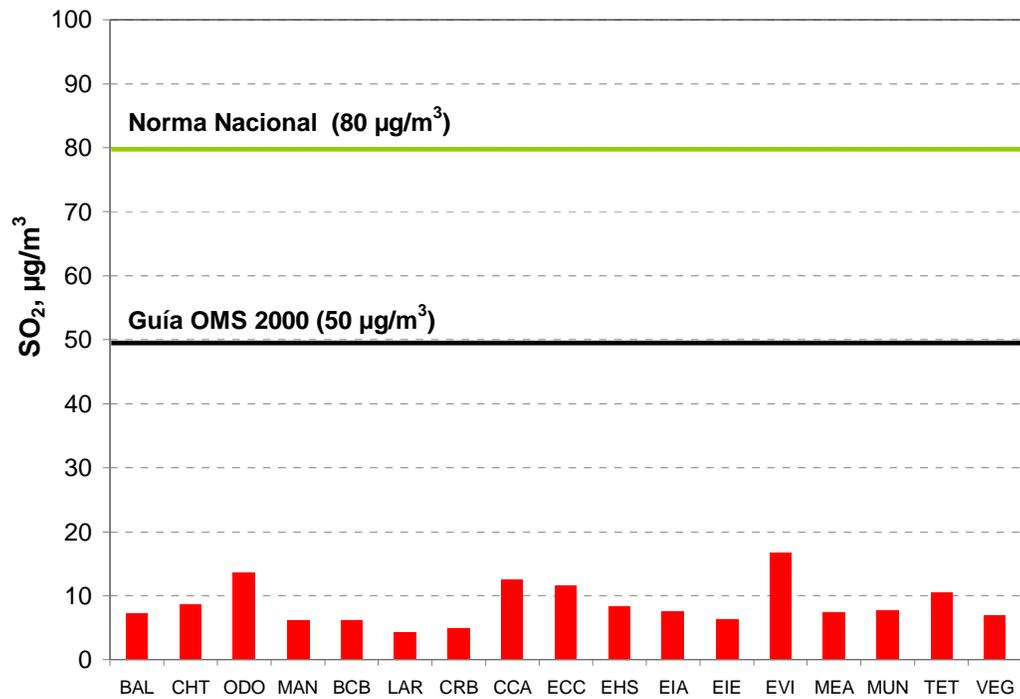


Figura 21. Dióxido de azufre, promedio anual por estación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2010

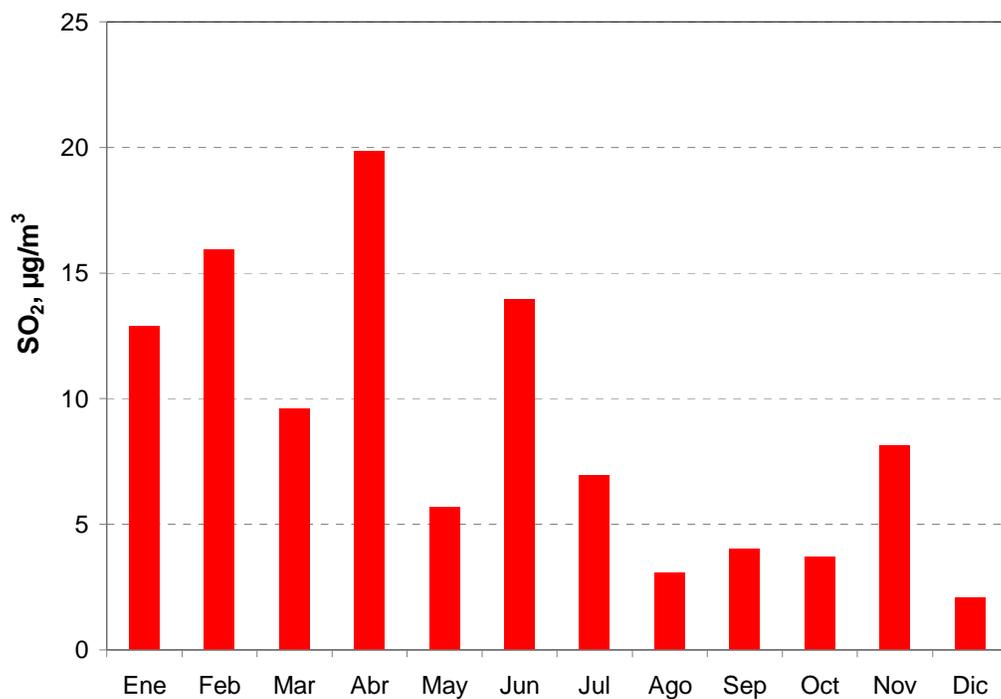


Figura 22. Concentraciones medias mensuales de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Año 2010

Código	Nombre	Dirección
CCA	Escuela Carlos Arizaga	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte
MUN	Municipio de Cuenca	Simón Bolívar y Presidente Córdova
EIE	Colegio Ignacio Escandón	Ave. Loja y Calle Ignacio de Rocha
MAN	Machángara	Jardines del Rio y Calle Londres
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Ave. Gonzales Suárez
EHS	Escuela Héctor Sempértugi	Camino a Ochoa León
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Av. Paseo de los Cañaris
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle de la Bandolia y Calle del Arpa
ODONT	Facultad de Odontología	Ave. Pasaje de Paraíso y Av. 10 de Agosto
EVI	Escuela Velazco Ibarra	Ave. Felipe II y Av. Isabel Católica
MEA	Feria Libre	Ave. R. Crespo y Av. De las Américas
BAL	Balzay	Ave. Ordoñez Lasso y Ave. Cerezos
CRB	Colegio Borja	Camino a baños
BCB	Estación de Bomberos	Presidente Córdova y Luis Cordero
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz

Tabla 8. Descripción siglas de los puntos de monitoreo pasivo

9.4 Lista de abreviaturas

CO	Monóxido de carbono
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
ECA	Estándar de Calidad del Aire
HC	Hidrocarburos
IR	Infrarrojo
IRND	Infrarrojo no dispersivo
ISO	International Organization for Standardization. Organización Internacional para la Normalización
MP	Material Particulado
NO	Monóxido de nitrógeno
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NOX	Óxidos de nitrógeno
O₃	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
PM	Peso Molecular
PM-10	Fracción de la masa de las partículas cuyo diámetro aerodinámico de corte al 50% es menor a 10 µm.
PM-2.5	Fracción de la masa de las partículas cuyo diámetro aerodinámico de corte al 50% es menor a 2.5 µm.
ppb	partes por billón
ppm	Parte por millón
PVC	Policloruro de vinilo
SO₂	Dióxido de azufre
UHF	Ultra High Frequency. Ultra Altas Frecuencias.
USEPA	United States Environmental Protection Agency. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
UV	Ultravioleta
V	Voltios
VIM	Vocabulario Internacional de Metrología
VHF	Very High Frequency. Muy Altas Frecuencias