



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
APOYO A LOS MONITOREOS AMBIENTALES PARA LA DETERMINACIÓN
DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LA MATRIZ AIRE, EN LA EMPRESA PSL
PROANALISIS LTDA.

AUTOR

Julián David Guarín Ardila C.C1098788989

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGÍA EN RECURSOS AMBIENTALES
BUCARAMANGA, SANTANDER
2 de diciembre de 2019



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
APOYO A LOS MONITOREOS AMBIENTALES PARA LA DETERMINACIÓN
DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LA MATRIZ AIRE, EN LA EMPRESA PSL
PROANALISIS LTDA.

AUTOR

Julián David Guarín Ardila
C.C1098788989

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnología en recursos ambientales

DIRECTOR

Ing. Alba Josefa Vargas Buitrago

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN RECURSOS AMBIENTALES
BUCARAMANGA, SANTANDER
2 de diciembre de 2019

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

De antemano quiero dedicarles este trabajo a mis padres, por su apoyo incondicional en lo que ha sido el proceso de mi educación, este es uno de los pasos más importantes en el inicio de mi vida profesional; a DIOS le doy gracias por permitirme disfrutar situaciones que me han hecho crecer como persona y poder cumplir una meta más, pero en especial por tener mi familia completa y unida.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a la empresa PSL PROANALISIS LTDA por darme la oportunidad de adquirir tantos conocimientos y por tan buen acogimiento dentro de sus instalaciones; en especial quiero dar las gracias al ing. David Fernando León Rincón por la confianza brindada y su importante acompañamiento en este proceso de grado.

Agradezco a Ricardo, Marlon, Camilo, Anderson, Jairo, David y todos mis compañeros del área de campo por compartir sus conocimientos conmigo, al igual que a la Ing. Alba Vargas Buitrago por su dirección en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u>	<u>8</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>10</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>12</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. ANTECEDENTES	17
<u>2. MARCOS REFERENCIALES</u>	<u>20</u>
2.1. EQUIPO MUESTREADOR DE TRES GASES	35
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	36
2.3 MARCO LEGAL	45
<u>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>47</u>
3.1. UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO.....	49
<u>4. RESULTADOS.....</u>	<u>57</u>
4.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS	57
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.3. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE - ICA	73
<u>5. CONCLUSIONES</u>	<u>75</u>
<u>6. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>77</u>
<u>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>78</u>
<u>8. ANEXOS.....</u>	<u>80</u>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Composición y propiedades del aire y de sus componentes mayoritarios	21
Tabla 2. Descripciones de divisiones del equipo muestreador	29
Tabla 3: Normatividad aplicable de Calidad del aire	45
Tabla 4. Descripción del punto de monitoreo- Estación 1	50
Tabla 5. Descripción del punto de monitoreo- Estación 2	51
Tabla 6. Descripción del punto de monitoreo- Estación 3	52
Tabla 7. Captura de datos meteorológicos	58
Tabla 8. Condiciones meteorológicas del monitoreo de aire	59
Tabla 9. Resultado de monitoreo de material particulado: PM ₁₀	61
Tabla 10. Análisis estadístico de datos: PM ₁₀	62
Tabla 11. Resultado de monitoreo de material particulado: PM _{2.5}	64
Tabla 12. Análisis estadístico de datos: PM _{2.5}	65
Tabla 13. Resultado de monitoreo de gases: SO ₂	66
Tabla 14. Análisis estadístico de datos: SO ₂	67
Tabla 15. Resultado de monitoreo de gases: NO ₂	69
Tabla 16. Análisis estadístico de datos: NO ₂	70
Tabla 17. Resultado de monitoreo de gases: CO.....	71
Tabla 18. Análisis estadístico de datos: CO	72
Tabla 19. Índices de calidad del aire determinados en el área de influencia del proyecto ..	74
Tabla 20 procedimientos est1	80
Tabla 21 procedimientos est2	81
Tabla 22 procedimientos est3	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipos muestreadores de alto volumen para medición de PM ₁₀	29
Figura 2. Calibrador tipo de equipos Hi-Vol.....	32
Figura 3. Muestreador Lo Vol – PM _{2.5}	35
Figura 5. Ubicación de las estaciones de muestreo.....	49
Figura 4. Montaje del calibrador de burbuja	53
Figura 6. Contenido de PM ₁₀ - Área de influencia del proyecto.....	64
Figura 7. Contenido de PM _{2.5} - Área de influencia del proyecto	66
Figura 8. Contenido de SO ₂ - Área de influencia del proyecto.....	69
Figura 9. Contenido de NO ₂ - Área de influencia del proyecto	71
Figura 10. Contenido de CO - Área de influencia del proyecto.....	73

RESUMEN EJECUTIVO

La práctica empresarial realizada en la empresa PSL PROANALISIS LTDA, busca facilitar la experiencia que se necesita para la planeación y ejecución de los monitoreos de calidad de aire, bajo los diferentes parámetros establecidos en la Resolución 650 de 2010 y ajustado con la Resolución 2154 de 2010, bajo los lineamientos de la EPA. Los parámetros medidos han sido acreditados por el laboratorio en su mayoría. Sumado a esto, esta práctica busca generar una perspectiva del campo laboral en uno de los campos de aplicación de la tecnología en recursos ambientales.

La metodología pretende abarcar todos los aspectos que componen un monitoreo de calidad de aire, todo esto respetando el tiempo que las Unidades Tecnológicas de Santander tiene establecido, el cual es de seiscientas (600) horas o cuatro (4) meses, y teniendo en cuenta lo que dura un monitoreo de calidad de aire que son dieciocho (18) días en temporada seca o treinta y seis (36) días en invierno.

El presente documento tiene como fin determinar la calidad del recurso aire en el área de influencia del proyecto para la actualización de la línea base, a partir de la realización de un monitoreo, el cual consta de tres (3) estaciones indicativas de calidad de aire, durante un periodo de dieciocho (18) días, en el marco del estudio ambiental de influencia de la variante Lórica - Córdoba. Sumado a esto, se realizó una fase de análisis y el montaje de un

informe, en el cual se anexarán los formatos utilizados los cuales contienen información relevante sobre el monitoreo realizado.

PALABRAS CLAVE. Calidad del aire, contaminación, monitoreo, muestra, recurso ambiental.

INTRODUCCIÓN

La medición y los inventarios de emisiones proveen fundamentos científicos y técnicos para el desarrollo de las políticas y estrategias. La cuantificación del impacto generado en términos de pérdida de calidad del aire, y sus efectos en la salud de la población (en comparación con estándares y con información de morbilidad – mortalidad) y hacen posible la cuantificación del efecto que producen las medidas adoptadas (evaluación de su impacto) y el costo de su implementación (evaluación económica de su implementación). Sin embargo, estas herramientas utilizadas con el mayor rigor técnico sólo entregan una imagen parcial - útil- de los comportamientos de las variables de contaminación del aire en espacio y tiempo determinados para una ciudad o región. (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

El presente documento pretende exponer la forma en que se realiza un monitoreo de calidad de aire bajo los lineamientos de la empresa PSL PROANALISIS LTDA; los factores a tener en cuenta obedecen a los requerimientos del cliente, ya que pueden variar en el número de estaciones que se requieran, parámetros que se soliciten, y principalmente, de las condiciones climáticas. El monitoreo de calidad del aire se desarrolló en el municipio de Loricá departamento de Córdoba, teniendo como finalidad la actualización de la línea base ambiental para un proyecto civil; el proceso de monitoreo fue desarrollado como práctica empresarial de tecnología en recursos ambientales bajo el cobijo de la empresa PSL PROANALISIS LTDA.

Por lo tanto, la implementación de estrategias relacionadas con la calidad del aire y también con la calidad de las emisiones generadas en el recurso aire, son fundamentales debido a que pueden establecer una revisión de la caracterización de la contaminación generada en el ámbito de las actividades industriales que se generan. Siendo importante resaltar, el desarrollo de estrategias ambientales asociadas al control de la contaminación y también a la identificación de aspectos ambientales relacionados con los procedimientos técnicos y operativos, los cuales brindan una revisión importante de la calidad de aire por medio de sistemas de monitoreo indicativo, siendo importante para el desarrollo y la implementación de mecanismos de gestión ambiental y de reducción o control de la contaminación atmosférica que puedan establecer un análisis técnico y operativo en el marco de la gestión ambiental.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto sobre el recurso ambiental aire, ha sido una de las mayores problemáticas que ocasiona el desarrollo económico de cualquier población, causando variaciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas de los recursos que afectan la salud de los seres vivos; es por esto que todo proceso de explotación a los recursos naturales para beneficios individuales o generales se tendrá que hacer de manera sostenible; “Los recursos ambientales constituyen activos sobre los que los individuos ejercen diversas demandas con el objetivo de obtener un nivel de bienestar, teniendo en cuenta que existen restricciones y límites. En términos generales, por tanto, podemos afirmar que la gestión de los recursos naturales estudia cuál debe ser el mejor comportamiento de los agentes sociales, en sentido amplio, respecto al uso, explotación, conservación o preservación de dichos bienes. Por tanto, es evidente que se trata de un planteamiento de carácter normativo, puesto que tiene que ver con lo que “debemos” hacer.” (Gomez Lopez , 2005)

Partiendo de esto, para hacer una correcta gestión de la explotación sostenible de los recursos, se deben cumplir una serie de lineamientos y estándares estipulados por los entes gubernamentales, que garanticen la protección de los ecosistemas y disminución de los impactos sobre el medio ambiente, dándole prioridad al cumplimiento de los parámetros ambientales que permitan reducir la contaminación, en este caso, principalmente del recurso aire.

Para ejemplificar el deterioro del recurso aire; “En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1% del PIB de 2009 (\$5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias.” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

En un ámbito local según vanguardia liberal “La contaminación de los afluentes, la polución que genera el disparado parque automotor, el maltrato a las zonas verdes y la falta de cultura ciudadana son, entre otras, las causas principales del deterioro del Medio Ambiente del Área Metropolitana de Bucaramanga.” (ARDILA, 2017) Esto nos indica que es necesario hacer un esfuerzo en la identificación de los focos de impacto en todos los campos de la economía principalmente en el sector industrial, para que las empresas puedan tomar las medidas correctivas en los procesos de producción para que sean más amigables con el medio ambiente.

Con base en lo anteriormente mencionado se resalta el hecho que en el municipio de Lórica se llevan a cabo explotaciones industriales las cuales generan emisiones contaminantes, por esta razón deben realizarse monitoreos ambientales, partiendo desde la calidad actual, y continuando con monitoreos periódicos para el control y seguimiento de la calidad del aire, manteniendo los límites de contaminación que se estipulen en la licencia ambiental del proyecto.

Se considera que todo proceso de desarrollo industrial requiere de la utilización de por lo menos un recurso natural no renovable en especial el aire; de aquí nace la pregunta de la formulación de la problemática:

¿Qué beneficios aporta al medio ambiente la identificación de los focos contaminación del aire?

¿Por qué es importante conocer las concentraciones de los contaminantes que respiramos?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La calidad del aire es un factor que incide directamente en la salud de todos los componentes de un ecosistema, así como también en la salud de los seres humanos; Pues de ella dependen la mayoría de las actividades indispensables para el desarrollo económico y social de una nación. La calidad de un recurso ambiental abarca los componentes físicos, químicos y biológicos de un elemento (aire) y sus interacciones con el medio; es por esto que para determinar la salud de un recurso es importante integrar una serie de variables y parámetros múltiples que deben ser escogidos previamente, dependiendo de las necesidades del sector de impacto, es decir que no todos los parámetros y procedimientos son aplicables para todos los impactos.

Cada sector industrial requiere de un estudio diferente dependiendo del nivel de impacto que esté generando, la distancia de interacción con cascos urbanos, el tipo de contaminante generado, el tiempo de generación de ese impacto, entre otras variables.

La alteración a las condiciones físicas químicas y biológicas de los recursos naturales repercute en la salud de quienes se benefician de estos componentes ambientales; la evaluación de los niveles de contaminación de un elemento natural se puede determinar mediante procedimientos técnicos de análisis de componentes fisicoquímicos, tomados mediante muestras representativas.

“La contaminación del aire es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire. Las emisiones de los automóviles, los compuestos químicos de las fábricas, el polvo, el polen y las esporas de moho pueden estar suspendidas como partículas.” (MedlinePlus, 2018). Lo que genera grandes complicaciones a la salud, aumentando las posibilidades de padecer enfermedades respiratorias.

Es por esto que es indispensable el monitoreo y control de todos los focos de contaminación aplicando procedimientos técnicos que permitan la identificación de las condiciones específicas en las que se encuentra el recurso ambiental, para brindar a las empresas un soporte científico que pueda ser útil en el mejoramiento de sus técnicas de explotación, mitigación de los impactos y evitar incurrir en sanciones por parte de las autoridades ambientales por incumplimientos a la norma.

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Apoyar a PSL PROANALISIS LTDA en el proceso de determinación del nivel de contaminación del recurso aire por medio de toma de muestras *in-situ* (en el lugar), en el área de influencia del proyecto (área de influencia de la variante Lorica-Córdoba).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las necesidades del sector de acuerdo a los impactos generados en el medio.

Determinar las áreas de realización de los monitoreos gravimétricos y de gases.

Efectuar los protocolos técnicos para el muestreo del recurso aire.

Definir las condiciones del recurso aire relacionado con los procesos de monitoreo y sus resultados obtenidos en el área de trabajo.

1.4. ANTECEDENTES

Durante la etapa pre-constructiva el contratista deberá establecer la necesidad de instalar plantas de trituración, asfalto y/o concreto para la construcción de las obras, y previo al inicio del contrato, deberá gestionar ante la Autoridad Ambiental: los permisos de localización, emisiones atmosféricas, concesión de aguas, vertimiento de aguas, disposición de sólidos o manejo de vegetación.

El contratista debe entregar a la Interventoría para su verificación copia de los pagos por regalías al Municipio y de las tasas o compensaciones a las Autoridades Ambientales. Este programa está encaminado a definir acciones para controlar los impactos que se causan por la instalación de las plantas, los cuales se generan principalmente sobre el componente aire –ruido y emisiones de partículas finas provenientes del proceso de triturados y en los sitios de transferencia del material hacia los medios de transporte y almacenamiento– y sobre el componente agua por el lavado del material pétreo en su proceso de triturado y el lavado de las plantas de concreto.

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones en un tiempo determinado y como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que puedan causar daños a la salud de las personas o al ambiente, razón por la cual el contratista no podrá alterar las condiciones atmosféricas existentes en el área de influencia directa del proyecto con la construcción de las obras y deberá ejecutar medidas durante la etapa constructiva para evitar la emisión de partículas por fuentes fijas –trituradoras, tamizadoras y bandas–, emisión de gases por fuentes móviles –cargador, camiones y vehículos en general–, generación de ruido y alteración de la calidad del agua. (Invias, 2011).

La predicción de los impactos medioambientales causados por la construcción en las primeras etapas del proyecto puede conducir al mejoramiento del comportamiento medioambiental de los proyectos y obras de construcción (Gangoellis et al., 2011). Se espera que la construcción

produzca daños en el frágil medioambiente debido a los impactos adversos de la construcción, entre los que se encuentran el agotamiento de los recursos, pérdida de la diversidad biológica debido a la extracción de materias primas, vertido de residuos, menor productividad laboral, efectos adversos para la salud humana debido a la mala calidad del aire interior, calentamiento global, lluvia ácida y smog causado por las emisiones generadas por la fabricación de productos para la construcción y el transporte que consume energía (Lippiatt, 1999). Los impactos medioambientales están clasificados en tres categorías: impactos sobre los ecosistemas, sobre los recursos naturales y sobre la comunidad (Li et al., 2010; Chang et al., 2011; y Zolfagharian et al., 2012). (Gaza, 2014).

Teniendo en cuenta el gran número de proyectos de construcción en curso, el impacto sobre el ecosistema se ha convertido un asunto de importancia (Zolfagharian, 2012). Los impactos adversos para el medioambiente son: desechos, ruido, polvo, residuos sólidos, generación de tóxicos, contaminación del aire y del agua, malos olores, cambio climático, uso del suelo, operaciones con remoción de la vegetación y emisiones peligrosas. Las emisiones al aire son generadas por los gases de los escapes de los vehículos y el polvo durante la etapa de construcción (Kaur y Arors, 2012). Estas emisiones contienen CO₂, NO₂ y SO₂ (Kaur y Arors, 2012; Li et al., 2010; Pittet y Kotak, 2012). Las emisiones de ruidos son generadas por los diversos equipos, compresores de aire y vehículos. Los equipos para la construcción y otras fuentes generan ruidos en el rango de los 70 a 120 DB en los alrededores de la obra (Kaur y Arors, 2012). Los residuos son generados por las actividades de la construcción, campamentos, plantas de tratamiento de residuos u otras fuentes. (Gaza, 2014)

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1 MARCO TEORICO

Para poder entender el desarrollo de proyecto de monitoreo de la calidad del aire es importante conocer los distintos lineamientos teóricos respecto a la contaminación del aire.

Recurso aire

Es el gas que constituye la atmósfera terrestre, formado principalmente de oxígeno y nitrógeno, y con otros componentes como el dióxido de carbono y el vapor de agua. (Española, 2019).

La composición del aire en las capas inferiores de la atmósfera y algunas propiedades termodinámicas de sus componentes mayoritarios fijos (nitrógeno, oxígeno y argón) son las que figuran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Composición y propiedades del aire y de sus componentes mayoritarios

Gas	%v	%p	Punto triple [°K]	BP [°K]	Punto crítico [°K] [ata]		Coefficiente adiabático <i>k</i>	Calor esp. @ 20°C <i>c_p</i> [kcal/kg°C]	Peso molecular <i>M_w</i> [kg/kmol]
Aire					132	37,2	1,40	0,24	29
N ₂	78,080	75,465	63	77	126	33,5	1,40	0,25	28
O ₂	20,945	23,195	54	90	155	50,1	1,40	0,22	32
Ar	0,935	1,245	84	87	151	48,3	1,66	0,12	40

Fuente: (UPM)

Las emisiones atmosféricas por parte de las industrias ha sido uno de los mayores problemas de nivel ambiental desde la revolución industrial, es por esto que a través de los años las naciones se han puesto de acuerdo para disminuir las emisiones atmosféricas que producen el calentamiento global; “La contaminación del aire es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire. Las emisiones de los automóviles, los compuestos químicos de las fábricas, el polvo, el polen y las esporas de moho pueden estar suspendidas como partículas. El ozono, un gas, es un componente fundamental de la contaminación del aire en las ciudades. Cuando el ozono forma la contaminación del aire también se denomina *smog*. Algunos contaminantes del aire son tóxicos. Su inhalación puede aumentar las posibilidades de tener problemas de salud. Las personas con enfermedades del corazón o de pulmón, los adultos de más edad y los niños tienen mayor riesgo de tener problemas por la contaminación del aire. La polución del aire no ocurre solamente en el exterior: el aire en el interior de los edificios también puede estar contaminado y afectar su salud.” (Medlineplus.gov, 2018).

“Esta contaminación es provocada por diversas causas, pero el mayor índice se debe a las actividades industriales, comerciales, domésticas, agropecuarias y a los motores de los vehículos, por el impacto que tienen las sustancias que arrojan a la atmósfera. Los vehículos motorizados, por ejemplo, contaminan con monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono y partículas suspendidas de plomo. En toda ciudad industrializada, se pueden identificar distintos contaminantes, pero predominan los productos derivados del petróleo, los motores de distintas industrias así como los de vehículos, realizan la combustión” (Ecured, s.f.), además de esto las condiciones geográficas facilitan la acumulación y concentración de los contaminantes suspendidos en el aire; por ejemplo en ciudades que se encuentren sobre una meseta rodeada de montañas, la dispersión de los contaminantes se hace más difícil en ciudades en donde el nivel topográfico sea más plano.

Contaminantes Criterio en el Mundo

Dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, se identificaron 5 contaminantes criterio que afectan a la salud inmediatamente desde su inhalación: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono troposférico (O₃) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM₁₀). Además de éstos, se incluye al CO₂ (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero. El comportamiento de los gases en la atmósfera depende no sólo de las características químicas del componente y del ambiente donde se encuentra, sino además de condiciones físicas y meteorológicas donde se emiten. Por esto, las entidades regulatorias ambientales toman las decisiones de estandarizar unos niveles máximos permisibles de concentración para cada uno de los contaminantes criterio.

De aquí que las normas de calidad del aire en el mundo están siendo cada vez más exigentes y tienen mayor similitud a nivel global. En el 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó un estudio de comparación de las distintas regiones en el mundo, concluyendo que Asia y Latinoamérica tienen concentraciones mayores de PM10 que Europa y Norteamérica debiéndose principalmente a su crecimiento en producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad (WHO, 2005). Con respecto al SO₂, se encontró que hay altos niveles de concentración en algunas ciudades de China debido al incremento en el uso del carbón como fuente de energía y algunas ciudades de África que presentan concentraciones medias anuales de 100 µg/m³. Hoy en día, la norma de límite dada por la OMS es de 24 µg/m³ en 24 horas (WHO, 2005). El NO₂ es uno de los contaminantes con más incidencia en el mundo pues su principal causa de emisión son las fuentes móviles; aproximadamente, el 55% de las emisiones de un centro urbano corresponden a éste. En Latinoamérica, São Paulo y México D.F. presentan concentraciones de 70 µg/m³ y 85 µg/m³ respectivamente, seguidas de Beijing con 65 µg/m³. Según la OMS, se recomienda una concentración máxima de 40 µg/m³ en promedio anual. Para tener un conocimiento más acertado y sencillo sobre el tema, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estandarizó una medida de calidad del aire general para que el público pueda entender mejor el estado de contaminación conocido como el Índice de Calidad del Aire (ICA), que ubica aproximadamente cómo está el aire en el sitio de interés de un modo cualitativo. Los clasifica de acuerdo a Bueno (0-50), Moderado (51-100), Desfavorable para Grupos Sensibles (101-150), Desfavorable (151-200), Muy Desfavorable (201-300), Peligroso (301-500). En el caso de Colombia, esta medida se utiliza frecuentemente

en Cali para informar mensualmente a los habitantes sobre la calidad del aire en la ciudad. (EPA, 2010). (Andes, 2013).

Material particulado (PM10)

El PM son partículas sólidas o líquidas presentes en el aire que tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias. Existe plena evidencia científica de la relación entre la presencia de éstas con enfermedades respiratorias y cardíacas. Los más afectados son la población sensible (niños menores de 5 años y personas de la tercera edad) y su peligrosidad depende del tamaño y con las sustancias que se adhieren a su superficie. Se clasifican en PST (partículas suspendidas totales), partículas con diámetro menos a $10\ \mu\text{m}$ (PM10) y con diámetro menor a $2.5\ \mu\text{m}$ (PM2.5). La inhalación de PM puede inflammar las partes más pequeñas del sistema respiratorio, dejando a la exacerbación del asma o de bronquitis crónica. En el momento de una inflamación, se corre el riesgo de padecer hipercoagulabilidad transitoria (WHO, 2005). Las partículas con diámetro menor a $2.5\ \mu\text{m}$ son aún más peligrosas pues pueden alcanzar las partes más pequeñas de los pulmones, de aquí que la acción natural de limpieza del cuerpo no pueda ser llevada a cabo y se necesite de intervención quirúrgica. Otros problemas a la salud incluyen muerte prematura en las personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma, aumento en problemas respiratorios como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultad para respirar (EPA, 2013). (Andes, 2013).

NOX

Los óxidos de nitrógeno, y especialmente el NO₂, son promotores de otros contaminantes como el smog y la lluvia ácida. En un centro urbano, el 55% de las emisiones son del sector transporte y 22% es de generación energética. La presencia del NO₂ en la tropósfera en conjunto con radicales libres HC, hace que se forme O₃ troposférico, mientras que en la atmósfera, reacciona con el monóxido de cloro formando nitrato de cloro y liberando átomos de cloro que destruyen la capa de ozono al reaccionar con el ácido clorhídrico (Banco Mundial, 1997). El tiempo de exposición determina el alcance a la salud para las personas, un tiempo de exposición corto (1 hora a 24 horas) tendrá un efecto inmediato en el aumento de problemas respiratorios incluyendo inflamación de las vías respiratorias y el aumento de síntomas para las personas que tienen asma. A largo plazo, con la formación de partículas que se ubican en todo el tracto respiratorio, pueden aumentar problemas cardiovasculares, bronquitis, asma y muerte prematura para la población más vulnerable. (Juan, 2015). (Andes, 2013).

SOX

El SO₂ es un gas estable que se produce por la quema de combustibles. En un centro urbano, el 67% de las emisiones vienen de las generadoras de energía y el 18% del sector industrial. La contribución del sector transporte a las emisiones mundiales de SO₂ se estiman entre 2% y 6% (Banco Mundial, 1997). Es un gas irritante, que afecta a las partes superiores de las vías respiratorias y está asociado con la disminución en el funcionamiento pulmonar. La OMS determinó que los efectos mortales están entre 500 µg/m³ por un tiempo de exposición de

24 horas y una morbilidad respiratoria en ambientes con exposiciones superiores a 250 µg/m³ (WHO, 2005). (Andes, 2013).

CO

El monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro que a muy bajas dosis es uno de los contaminantes más peligrosos para la salud. En un centro urbano el 56% de las emisiones provienen del transporte. Está asociado a la formación de carboxi-hemoglobina (COHb), una condición en la que la hemoglobina es más afín con el CO que con el oxígeno. Al estar presente el CO en la sangre, la hemoglobina no puede transportar oxígeno para las condiciones vitales y por lo tanto creará un déficit de éste en la sangre. En niveles por debajo de 10% de COHb se producen mareos, dolor de cabeza y vómito. Para niveles con más del 40% de COHb, el monóxido empieza a causar coma neurológico y colapso en el sistema nervioso y a más del 60% causa la muerte (WHO, 2000). (Andes, 2013).

Las fuentes de emisiones:

En general, las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en: Fuentes Estacionarias: operan en un lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento. Fuentes Móviles: son aquellas que pueden desplazarse de forma autónoma (automóviles, camiones, maquinaria pesada, etc). (al W. Z., 2012)

Efectos a la salud de las emisiones

Los efectos a la salud se determinan dependiendo de variables como concentración del contaminante, tiempo de exposición, fracción inhalada, entre otros. Para cada una de estas variables, se incluyen estudios epidemiológicos, así como de toxicidad que determinan la relación entre emisión y enfermedad. Las normas de calidad del aire se basan en los niveles a los que la población puede estar expuesta a la contaminación: agudo o crónico. El nivel agudo ocurre cuando se presentan altos niveles instantáneos de concentración de contaminante, mientras que el crónico es cuando la contaminación permanece durante un tiempo prolongado. Estos dos tipos de exposición son perjudiciales y por lo tanto deben ser controlados para cada uno de los contaminantes criterio y por esto es que existen normas para tiempos de exposición cortos (horas) o largos (anual). (al W. Z., 2012)

Metodología implementada

El muestreo de los gases objeto de estudio (CO , NO_2 y SO_2) fue realizado mediante Tren de gases (Rack) y Analizadores portátiles; para el monitoreo de material particulado PM_{10} se utilizaron equipos HI-VOL muestreadores de Material Particulado, para el monitoreo de material particulado $\text{PM}_{2.5}$ se utilizaron equipos LOW-VOL muestreadores de Material Particulado. La metodología utilizada se basa en lo contemplado en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, (MAVDT, 2007).

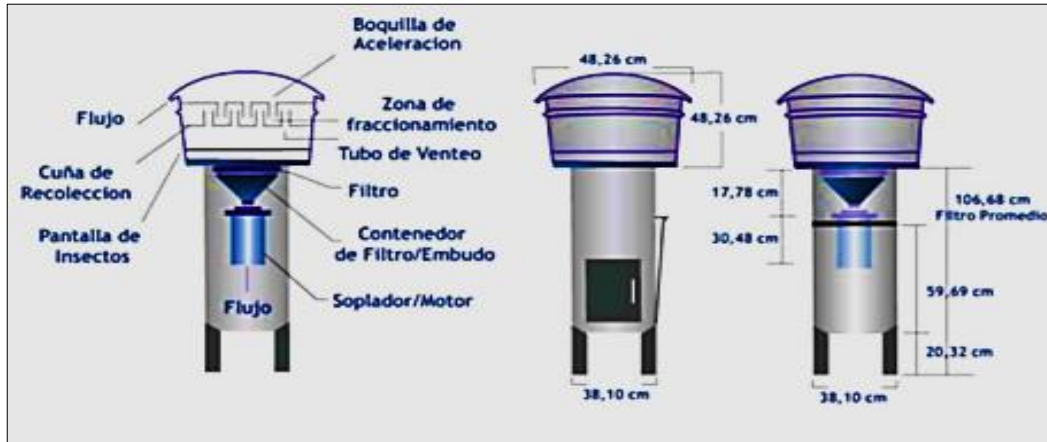
EQUIPO HI-VOL MUESTREADOR DE MATERIAL PARTICULADO

La tecnología utilizada en las estaciones es Hi-Vol de tipo VFC usada para cuantificar los niveles de inmisión.

La concentración de PM_{10} se determina mediante el método de la Norma Técnica Colombiana NTC 3704, equivalente al método US EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice B y J. En este método la toma de muestra se realiza mediante un muestreador Hi-Vol, el cual arrastra una cantidad medible de aire ambiente que pasa a través de un filtro, durante un período de muestreo (nominal) de 24 horas. El filtro se pesa (después de equilibrar la humedad) antes y después de usarlo, para determinar el peso (masa) neto ganado. El volumen de aire se determina con base en el flujo estándar promedio y el tiempo de muestreo.

El muestreador de la Figura 1, presenta tres (3) divisiones principales las cuales están conformadas a su vez por diferentes piezas; la descripción de cada una de estas divisiones se presenta en la Tabla 2. Descripciones de divisiones del equipo muestreador.

Figura 1. Equipos muestreadores de alto volumen para medición de PM₁₀



Fuente: (MAVDT, 2007)

Tabla 2. Descripciones de divisiones del equipo muestreador

CABEZOTE O PARTE SUPERIOR DEL EQUIPO	PARTE MEDIA DEL EQUIPO	PARTE INFERIOR DEL EQUIPO
Compuesta por una tapa piramidal de base rectangular la cual es la entrada del flujo de aire al interior del equipo, está hecha de un material liviano y anticorrosivo.	La parte media del equipo se encuentra conformada por la casa del cartucho del filtro y el sistema controlador de flujo volumétrico (VFC).	Conformado por caja registradora de flujo, temporizador electromecánico, registrador de tiempo y motor. El cuerpo del equipo está hecho de un material liviano y anticorrosivo.

Fuente: (MAVDT, 2007)

EQUIPOS DE PM₁₀ CON CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMÉTRICO (VFC)

➤ Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones actuales

El caudal o flujo real promedio para el período de muestreo es calculado determinando el cociente del promedio de la presión absoluta de estancamiento y el promedio de la presión

barométrica del lugar (P_1/P_a) al igual que la temperatura ambiental promedio (T_a) para el período de muestreo.

Para convertir las lecturas del manómetro de in de H_2O a mmHg, usando la ecuación siguiente:

$$\Delta PM_{10g} (mmHg) = 25,4 \times \frac{\Delta PM_{10g} (in H_2O)}{13,6}$$

➤ **Determinación del valor de la relación de presión de estancamiento P_1/P_a**

$$\frac{P_1}{P_a} = \frac{P_a - \Delta P_{stgmedia}}{P_a}$$

Dónde:

P_a = Presión atmosférica promedio para el periodo de muestreo (mm Hg)

$\Delta P_{stgmedia}$ = Promedio de las lecturas inicial y final de la presión de estancamiento (mmHg)

De la tabla de calibración del equipo o LOOKUP TABLE se determina Q_a para el período de muestreo, ingresando con los valores de radio de presión P_1/P_a y temperatura ambiental

T_a . Este dato corresponde al valor del caudal volumétrico promedio para el periodo de muestreo.

➤ **Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones estándar**

Para calcular el caudal de aire a condiciones estándar para el periodo de muestreo utilice la siguiente fórmula:

$$Q_{std} = Q_a \times \left(\frac{P_a}{P_{std}} \right) \times \left(\frac{T_{std}}{T_a} \right)$$

Dónde:

Q_{std} = Caudal de aire muestreado a condiciones estándar en m³/min

Q_a = Caudal de aire muestreado a condiciones reales en m³/min.

T_a = Temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo en °K

P_{std} = Presión barométrica estándar 760 mmHg

T_{std} = Temperatura estándar 298,15 °K

➤ **Cálculo del volumen de aire muestreado a condiciones estándar**

El volumen de aire muestreado se calcula mediante el producto del caudal de aire muestreado con el tiempo total de muestreo así:

$$V_{std} = Q_{std} \times t$$

Dónde:

V_{std} = Volumen total de aire muestreado a condiciones estándar en m³

t =Tiempo total de muestreo en min

Cálculo de la concentración de PM₁₀

$$C_{PM10} = 10^6 \times \left(\frac{W_f - W_i}{V_{std}} \right)$$

Dónde:

C_{PM10} = Concentración de PM₁₀ en µg/m³

W_f, W_i = Masas final e inicial del filtro de exposición en g

Los equipos utilizados para la calibración de los Muestreadores de material particulado Hi-Vol son:

- ✓ Kit de calibración Vari Flow
- ✓ Manómetro diferencial (U), rango 0–16 (pulgadas de agua), escala mínima 0.1 in
- ✓ Manómetro diferencial (U), rango 0–32 (pulgadas de agua), escala mínima 0.1 in
- ✓ Termómetro, rango 0 a 50 °C, escala mínima 0.1 °C
- ✓ Barómetro portátil, rango 500 a 800 mm Hg, escala mínima 5 mm Hg.
- ✓ Computador portátil.

Figura 2. Calibrador tipo de equipos Hi-Vol



Fuente: Autor, 2019.

EQUIPOS LOW VOL (LOW VOLUMEN SAMPLER) - PM_{2,5}

El método de referencia permite la recolección de partículas suspendidas totales en el aire, mediante un muestreador de aire accionado eléctricamente localizado apropiadamente en el sitio de muestreo, que extrae el aire ambiente a una velocidad de flujo volumétrico constante en una entrada con forma especial y por medio de un separador de tamaño de partícula de inercia (impactador) cuando la materia en partículas en suspensión en el PM_{2,5} rango de tamaño es separado para la recogida en un politetrafluoroetileno (PTFE) filtrado durante un período de muestreo de 24h ± 1h. La velocidad de flujo del muestreo permite coleccionar partículas para PM_{2,5} el muestreador permite coleccionar partículas de rango aerodinámico menor a 2,5 µm (PSL Proanalysis Ltda, 2016).

El Low Vol es un equipo que funciona con flujos entre 1 y 25 litros por minuto. Hace pasar aire a través de un filtro de 47mm durante un periodo de 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia (MAVDT, 2010).

Por lo general este tipo de equipos poseen controladores de flujo máxicos con un microprocesador (semiautomáticos). Tienen varias ventajas sobre los equipos de alto volumen, como son: el tamaño del equipo que lo hace fácilmente transportable, el menor tamaño del filtro que ahorra costos y autónomos (con panel solar y batería) evitando una fuente de luz externa. Estos equipos son método de referencia EPA y norma europea. En la Figura 3 se muestra el esquema del equipo utilizado (MAVDT, 2010).

➤ **Verificación del flujo**

La verificación del flujo de los equipos se realiza bajo las instrucciones impartidas por la casa fabricante del equipo muestreador, en este caso se utiliza un equipo calibrador Patrón TETRACAL, equipo con el cual se verifica el flujo al cual está configurado el equipo y de ser necesario se realiza el ajuste del mismo de acuerdo al manual del fabricante tomando como patrón el valor registrado por el calibrador TETRACAL (PSL Proanálisis Ltda, 2016).

➤ **Instalación del filtro**

Los filtros son cambiados, teniendo en cuenta el mínimo de contacto con la superficie de los mismos, siendo guardados en el compartimiento especial y dedicado para ello una vez son retirados del equipo muestreador.

- ✓ Se revisa el portafiltros: Es necesario realizar una limpieza integral del portafiltro, con el fin de evitar trazas de partículas del mismo y así evitar posible daño del filtro.
- ✓ Para la instalación del filtro se instala el magazín con la totalidad de los filtros de tal forma que estén en orden ascendente desde el primero hasta el último.
- ✓ Posteriormente se procede a incluir en el equipo la lista de los filtros y portafiltros instalados para el muestreo.
- ✓ Una vez instalados los filtros, se procede programar el periodo de monitoreo y el respectivo ciclo de trabajo, luego establecer la fecha de inicio del muestreo.
- ✓ Una vez realizado el muestreo, se verifican las condiciones del equipo, estado de operación, tiempo de operación, volumen acumulado, identificación de las condiciones actuales y revisión de las posibles condiciones de trabajo y que no existan posibles amenazas de factores externos sobre el equipo.

Figura 3. Muestreador Lo Vol – PM_{2.5}



Fuente: Autor, 2019.

2.1. EQUIPO MUESTREADOR DE TRES GASES

El equipo muestreador de gases tipo Rack, consta de una caja metálica con tapa eualizable y dos compartimentos. El primer compartimiento tiene una bomba de vacío cuyas características cumplen las especificaciones recomendadas por la USEPA (motor de 1700 rpm, 0.5 HP de fuerza, presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). En el segundo compartimiento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a tres colectores de vidrio de boro silicato (burbujeadores) que contienen la solución absorbente para los gases, y el otro vacío que hace las veces de trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra.

La determinación de la concentración de los gases en el aire se realiza mediante métodos analíticos establecidos en normas internacionales (ISO), acogidas y establecidas por entidades nacionales como el ICONTEC, el IDEAM y señalados en la Legislación Nacional como los apropiados para tal fin. Para la calibración del equipo de gases, (tren de muestreo de gases) se siguen las especificaciones recomendadas por USEPA Test Method EPA-600/4-77-027 A. Sección 1-7 “Calibration of Equipment”, “Sampling Train To Control Devices”. Se garantizó que la presión absoluta corriente a bajo de la boquilla estuviera entre 0.45 a 0.53.

De esta manera se reguló el vacío de la bomba hasta obtener la condición de flujo crítico y caudales de succión entre 0.180 y 0.220 litros/min.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Aglomeración. Área que se caracteriza por una concentración de población de más de 250.000 habitantes o, cuando la concentración de población es inferior o igual a 250.000 habitantes, por una densidad de habitantes por km² que justifica que los Estados Miembros evalúen y controlen la calidad del aire ambiente. (IDEAM)

Aire ambiente. Aire exterior de la troposfera, excluidos los lugares de trabajo. (IDEAM)

Aire cero: Es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales con las calidades definidas en los respectivos métodos analíticos. (IDEAM)

Albedo: Fracción o porcentaje de energía solar incidente que refleja una superficie en el espacio. Las diferentes superficies tienen diferentes valores albedo. (IDEAM)

Análisis: Procedimiento para determinar la composición de una sustancia o mezcla de ellas en una muestra. (IDEAM)

Arrastre: Mezcla de aire ambiental en la pluma. (IDEAM)

Aseguramiento de la Calidad (AC): Sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA]

Auditoría: Evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA]

Balance térmico: Se refiere al hecho de que cada año la Tierra y su atmósfera, en conjunto, descargan al espacio exterior tanta cantidad de energía como la que reciben. De otro

modo, la temperatura promedio de la Tierra y su atmósfera cambiaría significativamente.

(IDEAM)

Barómetro: Instrumento para medir la presión atmosférica. (IDEAM)

Bit: es la unidad más pequeña de transmisión que se utiliza como base en las comunicaciones de datos. (IDEAM)

Calentamiento diferencial: Propiedad de las diferentes superficies que hace que se calienten y se enfríen a tasas distintas. (IDEAM)

Calibración: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición. Los resultados de la calibración permiten estimar errores en el instrumento de medición, sistema de medición, unidad de medida o en la asignación de valores arbitrarios. También puede determinar otras propiedades metrológicas. El resultado de una calibración puede registrarse en un documento llamado certificado de calibración o informe de calibración. El resultado de una calibración se expresa como un factor de calibración o como una serie de factores de calibración en forma de una curva de calibración. [VIM - 6.1n3].

Contaminante. Cualquier sustancia introducida directa o indirectamente por el hombre en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente en su conjunto. (IDEAM)

Contaminantes convencionales: Son los siguientes contaminantes: SO_x , NO_x , CO, O_3 , HCT dados como Metano, PST y PM10. (IDEAM)

Contaminantes primarios: Contaminantes del aire emitidos directamente por una fuente, que a diferencia de los contaminantes secundarios no se forman en la atmósfera. (IDEAM)

Control de Calidad (CC): Sistema de actividades técnicas que mide los atributos y rendimiento de un proceso, producto o servicio con estándares definidos para verificar que ellos cumplan los requisitos establecidos por el cliente. Las técnicas y actividades operacionales usadas para cumplir con los requisitos de calidad. Sistema de actividades y chequeos para asegurar que los sistemas de medición sean mantenidos dentro de los límites prescritos a fin de proporcionar una protección contra las condiciones fuera de control y asegurar que los resultados sean de calidad aceptable. [EPA]

Criterio de Aceptación: Límites específicos para las características de un producto, proceso o servicio definidos en los requisitos de un programa de calidad. [EPA]

Dato: Representación de una información de manera adecuada para su tratamiento por un ordenador. La información se condensa digitalmente, de modo que un texto, imagen, sonido o mapa se pueda representar en la pantalla. (IDEAM)

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (IDEAM)

Equipo para calibración: Es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia, sobre el que se compara la operación de un equipo de medición. (IDEAM)

Estaciones de monitoreo: Es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos primarios y/o de referencia y de medición meteorológica manuales o automáticos situados en posición estratégica dentro del diseño de una red. (IDEAM)

Estándar: Se refiere a las normas que han sido aprobadas y documentadas por entidades mundiales como OSI (International Standards Organization) ó IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers); y que se usan en la fabricación de equipos y en la construcción del software para transmisión de datos. (IDEAM)

Estratosfera: La segunda capa más baja de la atmósfera, que se inicia a una altitud de aproximadamente 12 km y termina a una altitud de aproximadamente 50 km. En la estratosfera se encuentra la capa de ozono, que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta del sol.

(IDEAM)

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Gas cero: Gas con una concentración cero (o menor que una cantidad a nivel de trazas) del contaminante de interés. Idealmente es igual al aire del sitio de medición con el contaminante de interés removido (por medio del "scrubbing"). (IDEAM)

Gas de referencia: Término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar. (IDEAM)

Gas primario: Una mezcla de gases cuyas concentraciones y composición son conocidas por medio de principios físicos, usualmente preparado en un laboratorio de gases primarios de calibración. El gas primario no sale del laboratorio donde se prepara. (IDEAM)

Gas secundario o de transferencia: Una mezcla de gas estándar, verificado con un estándar primario (trazable a un estándar), el cual es transferido a una estación para ser utilizado en calibraciones. (IDEAM)

Humedad del aire: Vapor de agua contenido en el aire. (IDEAM)

Indicador ambiental. Variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. (IDEAM)

Índice. Expresión numérica, de carácter adimensional, obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos. (IDEAM)

Material particulado: Término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo. (IDEAM)

Meteorología: Ciencia de la atmósfera. (IDEAM)

Microclima: Estructura climática de la capa atmosférica adyacente a una superficie en particular. (IDEAM)

Monitoreo: En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo. (IDEAM)

Muestra: Parte de una población que se obtiene en un período de tiempo con (1) la atmósfera recogida retenida en un solo recipiente, o (2) con un componente separado acumulado en un todo. (IDEAM)

Nivel. Concentración de un contaminante en el aire ambiente o su depósito en superficies en un momento determinado. (IDEAM)

Nubosidad: El término nubosidad parcial de nubes o simplemente nubosidad significa la fracción del cielo cubierto por las nubes de un cierto género, cierta especie, cierta variedad, cierta capa, o de una cierta combinación de nubes. (IDEAM)

Objetivo a largo plazo. Concentración de ozono en la atmósfera por debajo de la cual, según los conocimientos científicos actuales, sea improbable que se produzcan efectos nocivos directos sobre la salud y el medio ambiente en su conjunto, y que debe alcanzarse, en la medida de lo posible, a largo plazo con objeto de proteger de forma eficaz la salud y el medio ambiente. (IDEAM)

Objetivos de monitoreo: Definición del problema a ser resuelto utilizando los resultados del monitoreo. Es la respuesta a la pregunta ¿Por qué hacer un monitoreo?. (IDEAM)

PM₁₀. Partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 10 μm con una eficiencia de corte del 50%. (IDEAM)

PM_{2.5}. Partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 2,5 μm con una eficiencia de corte del 50%. (IDEAM)

Precipitación: Hidrometeoro constituido por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas amorfas, las cuales caen de una nube o grupo de nubes y que alcanzan el terreno. (IDEAM)

Trazabilidad: Posibilidad de relacionar el resultado de una medición con estándares apropiados, por lo general internacionales o nacionales, a través de una secuencia continua de comparaciones. [VIM - 6.12]

Turbiedad atmosférica: Reducción de la transparencia de la atmósfera producida por la absorción y difusión de la radiación solar por las partículas sólidas o líquidas, excepto las nubosas, mantenidas en suspensión en la atmósfera. (IDEAM)

2.3 MARCO LEGAL

Tabla 3: Normatividad aplicable de Calidad del aire

Tipo de norma	Norma	Descripción	Ente que expide la norma
Resolución	2254 de 2017	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Ley	1450 de 2011	Plan nacional de desarrollo	Congreso de la República
Resolución	935 de 2011	Métodos para evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas	IDEAM
Resolución	610 de 2010	Calidad del aire	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución	760 de 2010	Protocolo para el control y la vigilancia de contaminación de fuentes fijas.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución	650 de 2010	Monitoreo y seguimiento de calidad de aire.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución	651 de 2010	Subsistema de información de calidad de aire SISAIRE.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto	2820 de 2010	Licencias ambientales	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto	909 de 2008	Estándares de emisión admisibles de fuentes fijas.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución	901 de 2006	Control de sustancias agotadoras de la capa de ozono.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución	627 de 2006	Estándares permisibles de emisión de ruido	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto	948 de 1995	Aire y ruido	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Ley	388 de 1987	Plan de ordenamiento territorial POT	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
-----	-------------	--------------------------------------	--

Fuente: Autor, 2019.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Este trabajo está compuesto de cuatro etapas, en donde se partió desde la georreferenciación del área de estudio mediante coordenadas suministradas por el cliente, y de la identificación de las necesidades del sector dependiendo de los impactos generados al recurso aire, esto último mediante preguntas realizadas a las personas que residen dicha zona. Se procedió a realizar una visita técnica en la zona, con el fin de determinar los puntos de mayor importancia, y de tal manera que se abarque toda el área del proyecto. Luego de la visita y de conocer los parámetros que serían analizados, mediante los requerimientos del cliente, se procedió a ubicar las estaciones de monitoreo con los equipos necesarios para medir dichos parámetros, y se consultaron los protocolos que maneja la empresa con el fin de seguir los lineamientos de estos. Luego del monitoreo y de la entrega de resultados de laboratorio, se analizaron los reportes y se determinó la calidad del recurso basados en los parámetros analizados.

ETAPA 1

Al momento de llegar al área de influencia y con el fin de determinar focos de contaminación y problemáticas presentes con el recurso aire, se realizaron preguntas referentes a la calidad ambiental a algunas personas que aceptaron responderlas; de estas preguntas y de la observación técnica que se llevó a cabo en la zona, se pudo determinar que en la estación 3 al estar ubicada en zona rural, el aire presenta poca contaminación que pueda ser causada por gases de vehículos y material particulado, ya que la vía más cercana se encuentra a 310 metros de

distancia la cual es surcada por barreras naturales, no obstante, se pueden llegar a presentar olores ofensivos por la actividad ganadera que se lleva a cabo.

Para las estaciones 1 y 2, se presentaron condiciones similares, ya que las dos están ubicadas en zona urbana, se logró evidenciar la liberación de material particulado a causa del paso de vehículos sobre el terreno escarpado y quema de desechos a cielo abierto, esto ha causado problemas respiratorios entre los habitantes de la zona. A su vez, el vapor de agua generado por la ciénaga colindante genera sensación térmica mayor.

ETAPA 2 Y ETAPA 3

1) Ubicación y descripción de los puntos de monitoreo

Para la ubicación de las estaciones de monitoreo se tuvieron en cuenta una serie de factores como lo son las distancias a barreras naturales y edificios altos, no deben estar a menos de 10 metros de vías, las estaciones deben estar a una altura de 2 metros sobre el nivel del suelo como mínimo, deben ser ubicadas mínimo tres estaciones de monitoreo, y si el área es muy grande se debe hacer uso de más estaciones.

Estas estaciones se ubicaron de la manera más eficiente, buscando abarcar la totalidad del área del proyecto (influencia de la variante Lorica-Córdoba) y bajo lo estipulado en los instructivos I-

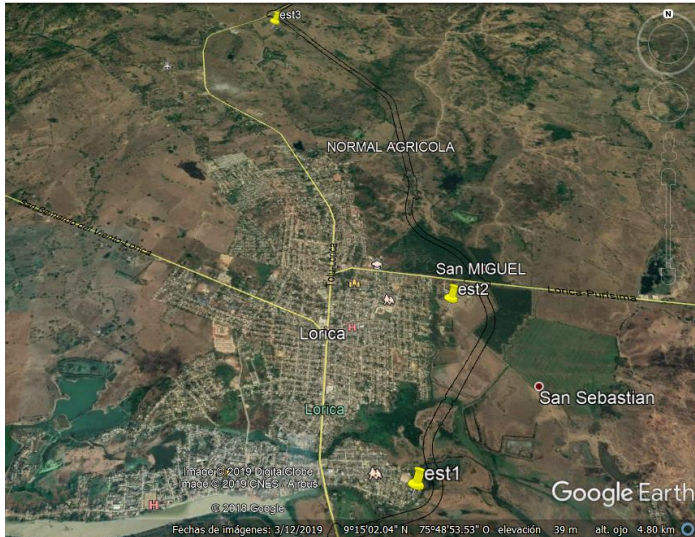
022, I-023, I-023-1, I-023-3, P-021 de la empresa PSL PROANALISIS LTDA los cuales se encuentran en el proserver de la empresa.

3.1. Ubicación de estaciones de muestreo.

El monitoreo se desarrolló en el municipio de Loricá departamento de Córdoba con el fin de establecer la calidad del aire en el área de influencia de la variante Loricá-Córdoba, considerando las fuentes de emisiones atmosféricas existentes en la zona para determinar y establecer las concentraciones de los contaminantes presentes, con el fin de evaluar la calidad del aire en el lugar, basados en los lineamientos establecidos en los términos de referencia y el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire determinada por la Resolución 650 de 2010 del MAVDT y la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Para el proceso de determinación de los puntos de monitoreo se realizó una visita previa junto con el cliente alrededor del área por donde pasará la obra civil; identificando tres puntos críticos, los cuales serían los sectores con mayor afectación en el desarrollo del proyecto y siguiendo los requerimientos que la autoridad ambiental exige en el trámite de la licencia ambiental.

Figura 4. Ubicación de las estaciones de muestreo.



Fuente: Autor,2019.

En las siguientes tablas se presentan las descripciones del área dentro del marco del estudio ambiental de las zonas de influencia de la variante Lorica - Córdoba.

El punto de monitoreo denominado “Estación 1” se encuentra ubicado cerca del caño de aguas prietas, y es en donde inicia la variante. Este lugar presentó las siguientes características:

En las siguientes tablas se muestra información relevante para la interpretación de resultados y para la generación de conclusiones específicas ante cualquier eventualidad o anomalía que pueda ser expresada en los reportes de laboratorio, ya que ciertas actividades generan comportamientos específicos en el recurso.

Tabla 4. Descripción del punto de monitoreo- Estación 1

Descripción de la Estación	Estación de calidad de aire ubicada Cerca de Caño Aguas Prietas Inicio Variante, en área residencial del municipio de Lorica. Estación conformada por equipos para material particulado PM _{2.5} , PM ₁₀ y tren de gases. Se instala en
-----------------------------------	---

	un área donde no se encuentran limitantes como barreras artificiales o naturales y a la altura según protocolo de instalación.
Influencia de Viviendas	La estación está ubicada en el barrio La Esmeralda del municipio de Lorica en unas de sus últimas cuadras, colindante a la ciénaga (seca en esta época de verano).
Influencia de Vías	El barrio La Esmeralda cuenta con calles vehiculares, con vías destapadas y en mal estado. Presenta polvo y áreas compactadas en diferentes tramos de la vía. Tráfico esporádico, en especial motocicletas.
Influencia Antrópica	Influencia por tránsito peatonal y de motocicletas, hogueras de basura y cocinas de leña.
Actividad Característica del Área en Estudio	Área residencial con familias dedicadas a la pesca artesanal en la ciénaga.
Condiciones Climáticas	Las condiciones climáticas en el área se presentaron con altas temperaturas acompañadas de fuertes vientos. Se presentaron algunas precipitaciones en horas de la tarde y madrugada. Como inicio a la temporada de invierno.
Objetivo del Monitoreo	Monitoreo de calidad de aire para los estudios de licenciamiento de la variante Lorica.
Observaciones Adicionales	La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como área de primer impacto como inicio del área de influencia en la variante de Lorica.

Fuente: Autor, 2019.

Por otro lado, el punto de monitoreo denominado “Estación 2” se encuentra ubicado en la Vía Chinú en el casco urbano de la zona, a continuación, se presentan las características de este:

Tabla 5. Descripción del punto de monitoreo- Estación 2

Descripción de la Estación	Estación de calidad de aire ubicada Vía Chinú (Casco Urbano) del municipio de Lorica. Estación conformada por equipos para material particulado PM _{2.5} , PM ₁₀ y tren de gases. Se instala en un área donde no se encuentran limitantes como barreras artificiales o naturales y a la altura según protocolo de instalación.
-----------------------------------	--

Influencia de Viviendas	La estación está ubicada en el casco urbano sobre la vía Lorica-Chinú en el municipio de Lorica, viviendas al oeste de la estación, con áreas de potreros al este del lugar de estudio.
Influencia de Vías	El área de estudio se encuentra en las últimas cuadras del casco urbano, cuenta con calles vehiculares, con vías destapadas a unos 140 metros, zona de potreros a 40 metros y cultivo de palma a 350 metros. Tráfico esporádico, en especial motocicletas.
Influencia Antrópica	Influencia por tránsito peatonal y de motocicletas, cocinas de leña y pastoreo de ganado.
Actividad Característica del Área en Estudio	Área residencial y agropecuario. Áreas residenciales al Oeste y agropecuario al Este.
Condiciones Climáticas	Las condiciones climáticas en el área se presentaron con fuertes temperaturas acompañadas de vientos en su misma magnitud. Se presentaron algunas precipitaciones en horas de la tarde y madrugada. Como inicio a la temporada de invierno.
Objetivo del Monitoreo	Monitoreo de calidad de aire para los estudios de licenciamiento de la variante Lorica.
Observaciones Adicionales	La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como zona media con influencia al casco urbano del municipio de Lorica.

Fuente: Autor, 2019.

Finalmente, el punto de monitoreo denominado “Estación 3” se encuentra ubicado en una finca ganadera al final de la variante, a continuación, se presentan las características del mismo:

Tabla 6. Descripción del punto de monitoreo- Estación 3

Descripción de la Estación	Estación de calidad de aire ubicada en finca ganadera al final de la variante del municipio de Lorica. Estación conformada por equipos para material particulado PM _{2.5} , PM ₁₀ y tren de gases. Se instala en un área donde no se encuentran limitantes como barreras artificiales o naturales y a la altura según protocolo de instalación.
Influencia de Viviendas	La estación está ubicada en la vivienda de la finca ganadera que comprende el final de la variante según diseño. La vivienda se encuentra a 40 metros al Noreste de la estación.

Influencia de Vías	La vía más cercana es la vía nacional Lórica-Coveñas y se encuentra a 310 metros.
Influencia Antrópica	Influencia por tránsito vehicular, pastoreo de ganado, influencia del viento y la erosión del suelo.
Actividad Característica del Área en Estudio	Área agropecuaria en toda la zona de influencia al final de la variante.
Condiciones Climáticas	Las condiciones climáticas en el área se presentaron con fuertes temperaturas acompañadas de vientos en su misma magnitud. Se presentaron algunas precipitaciones en horas de la tarde y madrugada. Como inicio a la temporada de invierno.
Objetivo del Monitoreo	Monitoreo de calidad de aire para los estudios de licenciamiento de la variante Lórica.
Observaciones Adicionales	La predominancia del aire en los registros meteorológicos indica vientos al Sur y Sureste, levantando material particulado de las áreas de potreros con cobertura vegetal por el fuerte verano.

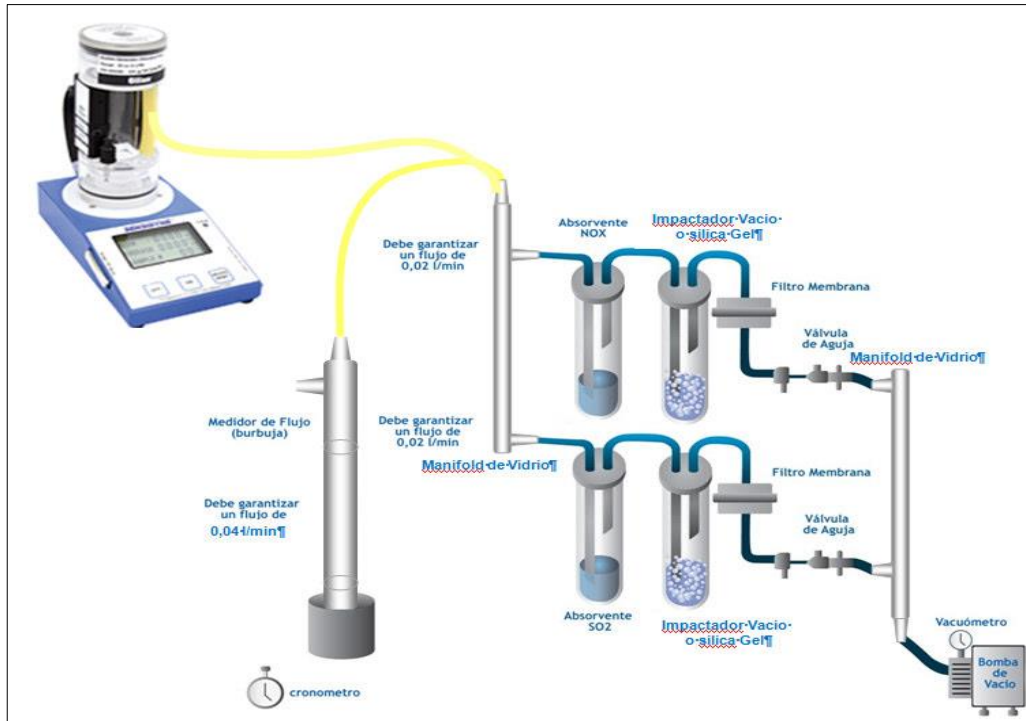
Fuente: Autor, 2019.

2) Identificación de protocolos técnicos:

Se desarrollaron los protocolos relacionados con la toma de datos, teniendo en cuenta que en estas estaciones se realizaron esquemas de calibración de equipos, procesos de establecimiento e instalación de filtros y también de ubicación de las estaciones y puesta en funcionamiento de los muestreadores de tipo High vol, para el muestreo de calidad de aire.

El procedimiento de calibración en la empresa Psl Proanálisis Ltda se efectúa empleando una unidad de calibración tipo burbuja, tal como se describe a continuación:

Figura 5. Montaje del calibrador de burbuja



Fuente: (MAVDT, 2007)

- ✓ Ensamble el equipo como muestra la Figura 5.
- ✓ Llenar los tubos de muestreo con 50 mL. de agua destilada.
- ✓ Revisar las conexiones.
- ✓ Enciender la bomba de vacío y verifique la presión manométrica.
- ✓ Verificar el funcionamiento de los burbujeadores en el tren de muestreo.
- ✓ Forme una burbuja, mida y registre el tiempo de viaje entre las marcas de volumen conocido en el calibrador de burbuja, repita esta operación como mínimo tres veces; hasta que los tiempos de recorrido no difieran entre sí en más del 5%. Registre la información en el formato para calibración de orificios críticos.
- ✓ Promedie el tiempo de viaje para tres corridas.

La corrección del volumen desplazado a condiciones de referencia (760 mmHg y 25 °C)

se realiza usando la siguiente ecuación:

$$V = V_m \times \left(\frac{P_b - P_v}{P_s} \right) \times \left(\frac{298,16}{T_m} \right)$$

Dónde:

V_m = Volumen medido en el medidor de burbujas en mL.

P_b = Presión barométrica en mmHg.

- P_v = Presión de vapor de agua en mm Hg.
 P_s = Presión de referencia en 760 mm Hg.
 T_s = Temperatura de referencia, 298 K.
 T_m = Temperatura de sitio de calibración en K.

- ✓ Se divide el volumen corregido por el tiempo promedio para determinar la tasa de flujo.
- ✓ La tasa de flujo para cada orificio de flujo crítico debe localizarse entre 180 y 220 mL/min, si no se cumple esta condición debe desecharse el orificio.

El procedimiento del muestreo que se lleva a cabo en la empresa Psl Proanálisis Ltda, se efectúa de la siguiente manera:

- ✓ Limpie los tubos burbujeadores con detergente doméstico y agua antes de cada muestreo.
- ✓ Los tubos burbujeadores deben llenarse con 50 mL del reactivo seleccionado para el gas contaminante a detectar. El tubo burbujeador de SO_2 se llena con 50 mL de TCM y el tubo burbujeador de NO_2 con 50 mL de Arsenito de Sodio. El tubo que no muestreará contaminante se llena con agua destilada. Tape inmediatamente los tubos. Marque los tubos con el nombre de la estación y gas monitoreado. Para medir estos volúmenes utilice probetas separadas, las cuales deben estar marcadas con el nombre del gas contaminante.
- ✓ Instale los tubos burbujeadores en el estante retirando las tapas y ensamblando cada tubo con las respectivas mangueras de entrada y salida de aire, guiando el burbujeador de SO_2 hacia el intercambiador de calor. Se debe hacer un asentamiento final del burbujeador de SO_2 ejerciendo una ligera presión hacia abajo y girando el tubo para asegurar que haya un buen contacto térmico.
- ✓ Fije los tres tubos con el sujetador de resorte.
- ✓ Prenda el equipo y verifique que haya burbujeo en los tres tubos. En caso de no haber burbujeo verifique nuevamente todas las conexiones del equipo.
- ✓ Asegúrese que haya unión hermética en todas las conexiones del equipo y que el cono de protección contra la lluvia esté hacia abajo.
- ✓ Verifique la tasa de flujo (procedimiento de calibración).
- ✓ Registre la fecha y hora de inicio de muestreo en el formato de muestreo, así como el valor de la tasa de flujo.
- ✓ Luego de 24 horas ± 1 de muestro verifique la tasa de flujo, registre este dato en el formato de campo al igual que la hora y fecha de finalización del muestreo.
- ✓ Apague el equipo.
- ✓ Una vez el equipo se encuentre apagado retire la canastilla o estante de los tubos del muestreador y evite la exposición directa de la luz solar durante el tiempo de toma de muestras.

- ✓ Revise si los tubos burbujeadores han tenido pérdidas por evaporación, y si el volumen de las muestras es menor a 35 mL o si detecta escape, descártelas y regístrelo en el formato de campo.
- ✓ Descarte las muestras que hayan operado más de 25 horas o menos de 23 horas.
- ✓ Traslade las muestras a los recipientes de recolección en un lugar sin exposición directa de la luz del sol. Los recipientes de recolección han debido ser previamente lavados con detergente y suficiente agua.
- ✓ Marque los recipientes de recolección de las muestras con la fecha, el gas contaminante (SO₂ o NO₂) y la identificación del lugar donde se tomó la muestra.
- ✓ Conserve las muestras en el refrigerador a una temperatura máxima de 5 °C, sin llegar a congelamiento.
- ✓ Luego de tener suficientes muestras envíe estas al laboratorio para su análisis.

4. RESULTADOS

ETAPA 4

1) Análisis de resultados a los contaminantes criterio caracterizados

Con el fin de determinar las condiciones del área de impacto de la variante Lorica, se realizó un análisis de resultados para cada uno de los contaminantes criterio caracterizados, realizando la respectiva comparación de los valores obtenidos con los establecidos en la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017, y con ello definir las condiciones de la calidad del aire en el sector.

Por ello, se analizaron las concentraciones e influencia de los contaminantes criterio de Material Particulado (PM_{10}) y ($PM_{2.5}$) en el presente informe.

Así mismo se realizó análisis de gases, los cuales son: Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2) y Monóxido de Carbono (CO) presentes en las tres (3) estaciones de monitoreo, realizado en los 18 días.

4.1. Condiciones meteorológicas

En el desarrollo del monitoreo se analizaron a diario los parámetros climatológicos de temperatura, humedad relativa, presión barométrica, precipitación, velocidad y dirección del

viento. Las variables se determinaron utilizando la estación meteorológica portátil DAVIS PRO LR-08.

Tabla 7. Captura de datos meteorológicos

Fecha [aaaa-mm-dd]	Presión Barométrica [mmHg]		Temperatura Ambiente [°C]		Humedad relativa [%]		Anemómetro		Precipitación [mm/h]
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Velocidad del viento [m/s]	Dirección [norte, sur, este, oeste]	
2019-03-08	757,9	750,1	36,0	21,5	92	49	1,8	S	0,00
2019-03-09	757,7	751,4	34,2	20,7	91	52	1,6	SE	0,00
2019-03-10	756,6	751,0	35,4	21,3	95	49	1,3	S	0,00
2019-03-11	757,9	751,4	35,2	22,0	92	54	1,2	SE	0,00
2019-03-12	757,6	750,7	35,6	20,3	91	56	1,5	S	0,00
2019-03-13	756,3	751,5	34,5	21,4	92	49	2,1	S	0,00
2019-03-14	756,7	751,2	33,4	22,3	93	54	2,2	S	0,00
2019-03-15	757,8	751,2	34,5	21,4	92	57	2,0	S	0,00
2019-03-16	757,9	750,3	35,6	21,8	91	49	2,5	S	0,00
2019-03-17	756,7	751,1	34,7	20,9	99	52	2,0	SE	2,03
2019-03-18	757,1	751,8	34,8	21,6	98	53	2,1	SE	2,31
2019-03-19	757,9	751,4	34,4	22,5	94	51	1,2	S	0,00
2019-03-20	756,4	750,6	34,3	21,8	97	49	1,4	SE	0,50
2019-03-21	757,6	751,8	35,6	21,9	92	49	2,3	S	0,00
2019-03-22	757,3	752,9	35,2	20,8	93	54	2,4	S	0,00
2019-03-23	756,8	751,3	33,5	21,5	91	49	1,7	S	0,00
2019-03-24	757,2	751,6	34,6	21,6	90	53	2,6	S	0,00
2019-03-25	757,7	750,2	35,7	22,5	98	57	1,8	SE	0,25

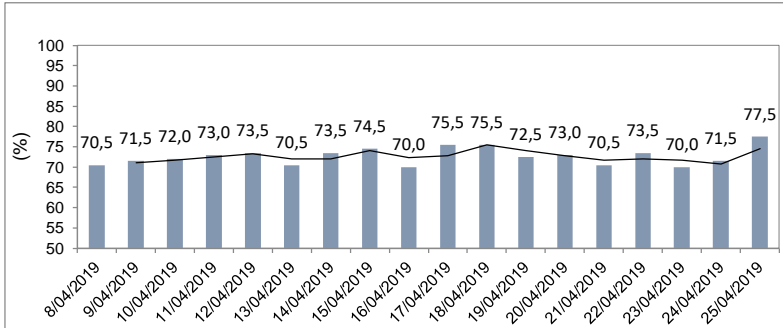
Fuente: Autor, 2019.

Tabla 8. Condiciones meteorológicas del monitoreo de aire

Condiciones Meteorológicas del Monitoreo	
Datos	Gráfica
<p>Velocidad del Viento</p> <p>Análisis: La velocidad del viento promedio fue de 1,87m/s con un valor mínimo de 1,2m/s y un valor máximo de 2,6m/s. Durante los 18 días de monitoreo las dos únicas direcciones del viento fueron Sur (S) y Sudeste (SE). Considerándose también que desde el día 9 (16/03/2019) al 18 (25/03/2019) tuvo un comportamiento heterogéneo, oscilando sus valores entre 1,4m/s y 2,5m/s.</p>	
<p>Temperatura Ambiente Promedio</p> <p>Análisis: La temperatura ambiente promedio fue de 28,2°C, el rango comprendido varió de 27,5°C a 29,1°C. La menor temperatura se obtuvo los días 09 y 23 de marzo de 2019 y la mayor el último día de monitoreo con fecha de 25/03/2019. Como se observa en la gráfica, este parámetro no presenta gran variabilidad, puesto que la temperatura de Lorica oscila entre 27,0°C a 30,0°C.</p>	
<p>Humedad Relativa Promedio</p> <p>Análisis: La humedad relativa promedio durante el monitoreo fue</p>	

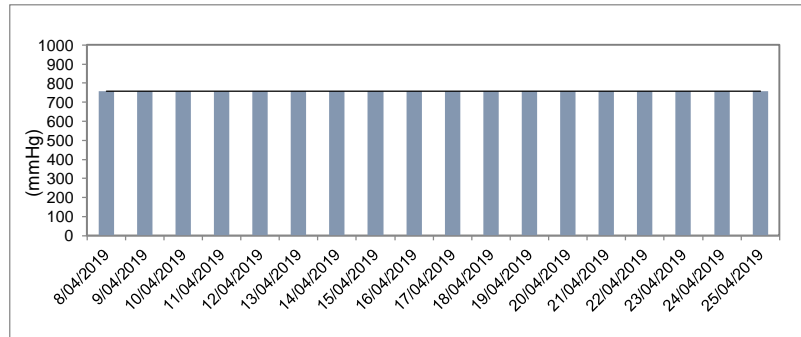
Condiciones Meteorológicas del Monitoreo

de 72,7%. El registro mínimo fue de 70,0% para los días 9 (16/03/2019) y 16 (23/03/2019), el valor máximo de 77,5% el último día con fecha de (25/03/2019). Como se percibe en la gráfica, esta humedad varía teniendo en cuenta la temperatura de la zona de estudio, por ende, la variabilidad de la figura mencionada.



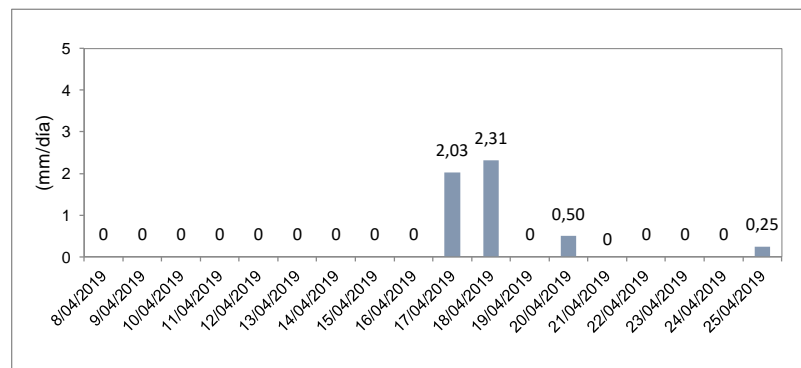
Presión Barométrica Máxima

Análisis: Las mediciones de presión barométrica máxima durante el muestreo oscilaron entre 756,3mmHg a 757,9mmHg. El promedio de esta variable fue de 757,3mmHg. Aunque no se presentan grandes variaciones en este parámetro, como se puede observar en la gráfica, su línea de tendencia se comporta como lineal.



Precipitación

Análisis: Se presentaron precipitaciones en solo 4 de los 18 días del monitoreo. El promedio de éste fue de 0,28mm/día. El menor valor en cuanto a precipitaciones se obtuvo el día 13 (20/03/2019) con deposición húmeda de 0,50mm/día y un máximo el día 11 (18/03/2019) con 2,31 mm/día.



Fuente: Autor, 2019.

4.2. Análisis de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las estaciones con relación a los contaminantes de estudio (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y CO) para el monitoreo de calidad del aire en el área del proyecto y sus respectivos análisis.

Tabla 9. Resultado de monitoreo de material particulado: PM₁₀

DÍA DE MONITOREO		PM ₁₀ [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 1	8/03/2019	26,8	32,5	30,1
Día 2	9/03/2019	19,4	25,2	27,2
Día 3	10/03/2019	19,0	19,0	12,1
Día 4	11/03/2019	21,6	19,3	11,6
Día 5	12/03/2019	28,2	18,8	30,9
Día 6	13/03/2019	12,5	30,2	31,7
Día 7	14/03/2019	14,8	33,6	40,6
Día 8	15/03/2019	13,0	35,5	30,8
Día 9	16/03/2019	17,2	44,8	24,9
Día 10	17/03/2019	13,2	19,1	18,0
Día 11	18/03/2019	14,5	35,0	13,7
Día 12	19/03/2019	13,3	18,5	12,9
Día 13	20/03/2019	8,7	21,0	9,8
Día 14	21/03/2019	8,3	24,3	13,0
Día 15	22/03/2019	14,0	16,7	14,5
Día 16	23/03/2019	11,6	13,6	8,0
Día 17	24/03/2019	16,2	25,6	7,8
Día 18	25/03/2019	11,5	39,2	7,3
Normativa local (24 horas)		74,0	73,7	73,3
Límite máximo permisible por la norma para 24 horas		75	75	75

Fuente: Autor, 2019.

Los datos estadísticos de los resultados obtenidos para Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) de la zona de estudio se encuentran consignados en la Tabla 10, en ella se puede observar que la concentración del parámetro en la Estación 1 presenta un promedio aritmético de 15,8 µg/m³, mediana de 14,3 µg/m³, percentil 25 y 75 de 12,3 µg/m³ y 19,1 µg/m³

respectivamente. En cuanto a la Estación 2, se obtuvo un promedio de $26,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mediana de $24,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, percentil 25 y 75 de $19,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $34,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondientes, y para la Estación 3 se reporta un promedio de $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mediana de $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, percentil 25 y 75 de $11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $30,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 10. Análisis estadístico de datos: PM_{10}

DATOS ESTADÍSTICOS	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	ESTACIÓN 3
Número de datos	18	18	18
Promedio aritmético	15,8	26,2	19,2
Mediana	14,3	24,8	14,1
Desviación estándar	5,5	8,9	10,4
Parámetro de Distribución T	2,1	2,1	2,1
Intervalo de confianza μ_1	12,9	21,5	13,7
Intervalo de confianza μ_2	18,7	30,9	24,6
Intervalo de confianza	2,9	4,7	5,5
Percentil 25	12,3	19,0	11,2
Percentil 75	19,1	34,0	30,3
Valor más alto registrado	28,2	44,8	40,6
Día de registro	12/03/2019	16/03/2019	14/03/2019
Valor más bajo registrado	8,3	13,6	7,3
Día de registro	21/03/2019	23/03/2019	25/03/2019

Fuente: Autor, 2019.

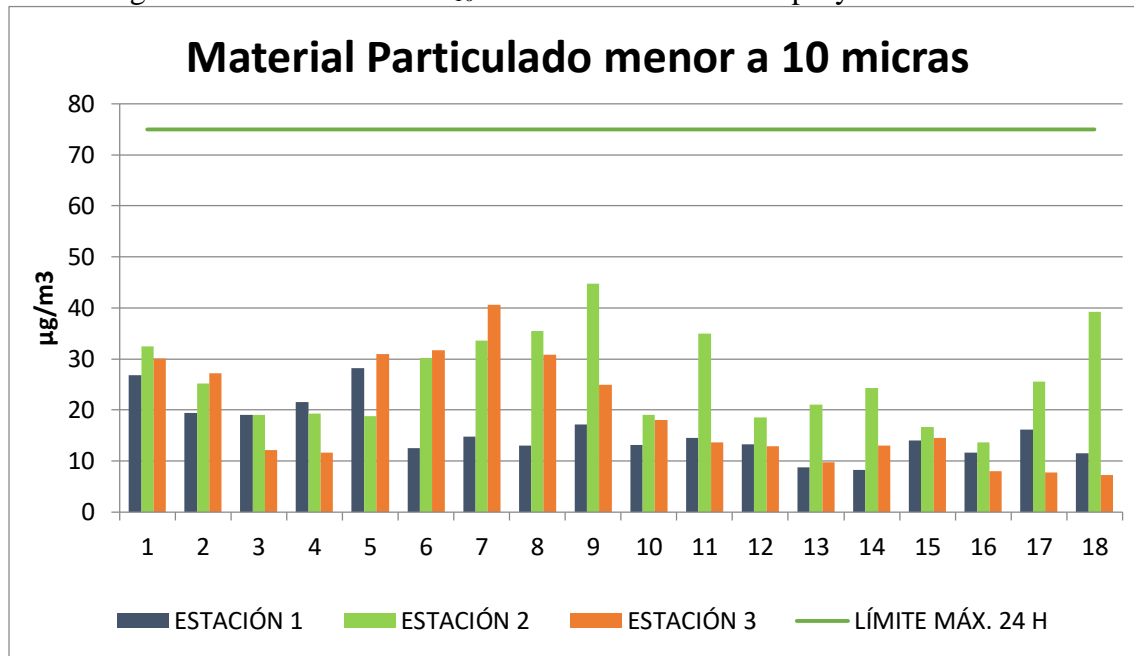
En la Figura 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa el comportamiento de este parámetro en las tres (3) estaciones de muestreo con gran fluctuación en los 18 días de monitoreo. La primera estación (Cerca de Caño Aguas Prietas Inicio Variante), obtuvo su mayor concentración el día 12 de marzo con $28,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la más baja de $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 21 de marzo. Estos valores son debidos a varios factores, como la influencia de las vías que se encuentran cerca de la estación, pues éstas a pesar de que presentaron tráfico esporádico, sus calles están en mal estado y sin pavimento, lo que incrementa las partículas; además de que en

los días de mayor concentración la zona no registró precipitaciones. También los habitantes de residencias cercanas hacen su aporte, al realizar combustión con leña y quemar residuos sólidos, pues estos humos además de gases contienen partículas microscópicas como PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Con respecto a la segunda estación (Vía Chinú (Casco Urbano)), el noveno día de monitoreo registró el más alto valor con $44,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 12 de marzo y el menor registro de $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 23 de marzo. Como se observa en la Figura 6 estos valores son mayores que los comparados con la primera estación, puesto que la ubicación para la toma de datos se realizó en el casco urbano sobre la vía Lórica - Chinú, por ende, la cercanía de ésta influye en los reportes consignados, teniendo en cuenta que la vía no se encuentra pavimentada y los fuertes vientos aumentan la concentración de partículas.

Lo que respecta a la tercera estación (Finca ganadera, final de la variante), se reportó la mayor concentración de PM_{10} el día 14 de marzo con $40,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la menor el último día de monitoreo (25 de marzo) con $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados tienden a ser más bajos que las otras estaciones, esto por la distancia de la vía principal y el área urbana. En donde los registros meteorológicos predominaron en los datos obtenidos, debido a los fuertes vientos del Sur y Sureste que transportaron material particulado de los suelos erosionados por sequía, debido a la época de verano en la zona de estudio.

Figura 6. Contenido de PM₁₀ - Área de influencia del proyecto



Fuente: Autor, 2019.

Tabla 11. Resultado de monitoreo de material particulado: PM_{2.5}

DÍA DE MONITOREO		PM _{2.5} [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 1	8/03/2019	23,2	27,9	26,3
Día 2	9/03/2019	14,4	22,0	24,0
Día 3	10/03/2019	15,5	13,9	5,9
Día 4	11/03/2019	17,3	15,8	9,3
Día 5	12/03/2019	21,1	16,1	25,6
Día 6	13/03/2019	5,2	26,6	25,0
Día 7	14/03/2019	10,6	30,3	34,6
Día 8	15/03/2019	9,6	31,1	22,6
Día 9	16/03/2019	8,8	43,9	10,5
Día 10	17/03/2019	3,4	16,1	4,1
Día 11	18/03/2019	9,1	32,7	7,8
Día 12	19/03/2019	4,0	6,1	9,9
Día 13	20/03/2019	5,3	17,8	1,5
Día 14	21/03/2019	6,9	19,2	1,7
Día 15	22/03/2019	7,2	13,2	4,5
Día 16	23/03/2019	6,6	12,6	1,9
Día 17	24/03/2019	13,0	18,0	2,3
Día 18	25/03/2019	6,2	33,0	3,6

DÍA DE MONITOREO	PM _{2.5} [µg/m ³]		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Normativa local (24 horas)	36,5	36,3	36,2
Límite máximo permisible por la norma para 24 horas	37	37	37

Fuente: Autor, 2019.

Los datos estadísticos de los resultados obtenidos para Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) de la zona de estudio, se encuentran consignados en la Tabla 12. Análisis estadístico de datos: PM_{2.5}, apreciándose en la EST-1 un promedio aritmético de 10,4 µg/m³, la mediana de 9,0 µg/m³, los percentiles 25 y 75 de 6,0 µg/m³ y 14,7 µg/m³. Para EST-2 se obtuvo un promedio de 22,0 µg/m³, la mediana de 9,0 µg/m³, los percentiles 25 y 75 de 15,4 µg/m³ y 30,5 µg/m³; y en cuanto a la EST-3 el promedio fue de 12,3 µg/m³, la mediana de 8,5 µg/m³, los percentiles 25 y 75 de 3,3 µg/m³ y 24,3 µg/m³.

Tabla 12. Análisis estadístico de datos: PM_{2.5}

DATOS ESTADÍSTICOS	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	ESTACIÓN 3
Número de datos	18	18	18
Promedio aritmético	10,4	22,0	12,3
Mediana	9,0	18,6	8,5
Desviación estándar	5,8	9,6	10,8
Parámetro de Distribución T	2,1	2,1	2,1
Intervalo de confianza µ1	7,3	17,0	6,6
Intervalo de confianza µ2	13,5	27,1	18,0
Intervalo de confianza	3,1	5,1	5,7
Percentil 25	6,0	15,4	3,3
Percentil 75	14,7	30,5	24,3
Valor más alto registrado	23,2	43,9	34,6
Día de registro	08/03/2019	16/03/2019	14/03/2019
Valor más bajo registrado	3,4	6,1	1,5
Día de registro	17/03/2019	19/03/2019	20/03/2019

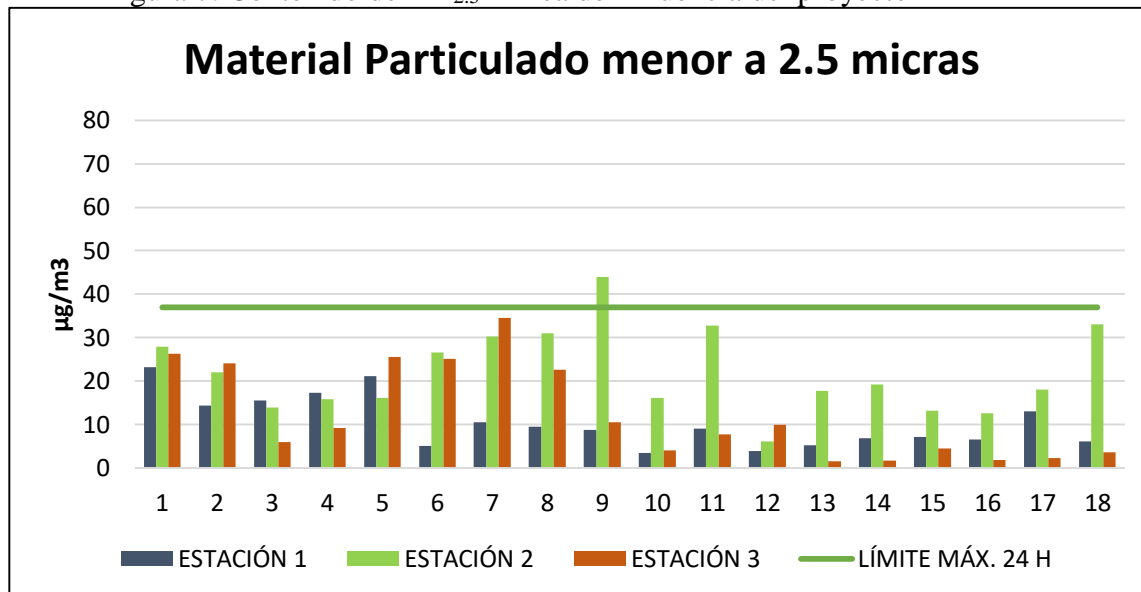
Fuente: Autor, 2019.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se aprecia el comportamiento del Material Particulado inferior a 2.5 micras para las tres (3) estaciones durante los 18 días de monitoreo. Observándose que para la EST-1 su mayor concentración se presentó el primer día de monitoreo (08 de marzo) con 23,2 µg/m³ y el menor el día 17 de marzo con 3,4 µg/m³. En donde influyen las vías destapadas y su mal estado, las diferentes fuentes fijas de combustión generadas por las quemas inadecuadas de madera, materiales orgánicos e inorgánicos y las fuentes móviles de combustión por Diésel del tráfico que pasa por la vía.

En relación con la EST-2 se observa un comportamiento similar a los resultados expuestos para PM₁₀, en donde la mayor contaminación se registró el 16 de marzo con 43,9 µg/m³, además de los anteriores factores se suman el material pulverizado del suelo causado por las ruedas de los vehículos, y exponer el polvo a fuertes corrientes de aire, también debido a posibles fuentes tanto naturales como antrópicas correspondientes a actividades realizadas en la zona de estudio. Y su menor concentración de 6,1 µg/m³ el día 19 de marzo.

Con respecto a la EST-3, ésta presentó su mayor contenido de PM_{2.5} el 14 de marzo con 34,6 µg/m³ y la menor el 20 de marzo con 1,5 µg/m³, atribuyéndosele el tráfico de la vía, que aunque no se encuentra muy cerca, la velocidad y dirección del viento favorecen la presencia de material particulado; además de otras actividades propias del sector.

Figura 7. Contenido de PM_{2.5} - Área de influencia del proyecto



Fuente: Autor, 2019.

Tabla 13. Resultado de monitoreo de gases: SO₂

DÍA DE MONITOREO		SO ₂ [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 1	8/03/2019	** 6,8	** 5,6	** 3,2
Día 2	9/03/2019	** 7,5	** 4,8	** 2,7
Día 3	10/03/2019	** 10,1	** 5,7	** 1,1
Día 4	11/03/2019	** 8,6	** 4,6	** 2,0
Día 5	12/03/2019	** 5,7	** 2,1	** 3,9
Día 6	13/03/2019	** 6,4	** 3,5	** 2,5
Día 7	14/03/2019	** 7,3	** 6,2	** 1,1

DÍA DE MONITOREO		SO ₂ [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 8	15/03/2019	** 6,0	** 5,3	** 1,0
Día 9	16/03/2019	** 7,0	** 6,0	** 0,7
Día 10	17/03/2019	** 7,7	** 6,4	** 1,6
Día 11	18/03/2019	** 6,2	** 7,2	** 3,0
Día 12	19/03/2019	** 6,9	** 5,7	** 1,5
Día 13	20/03/2019	** 7,3	** 4,0	** 0,5
Día 14	21/03/2019	** 8,1	** 3,8	** 1,3
Día 15	22/03/2019	** 8,5	** 4,9	** 2,1
Día 16	23/03/2019	** 9,3	** 5,2	** 3,9
Día 17	24/03/2019	** 8,9	** 4,8	** 5,0
Día 18	25/03/2019	** 8,4	** 5,1	** 4,4
Normativa local Diaria (24 horas)		49,3	49,1	48,9
Límite máximo permisible por la norma para 24 horas		50	50	50

Fuente: Autor, 2019.

Los datos estadísticos de los resultados obtenidos para el contaminante criterio SO₂ de la zona de estudio se encuentran consignados en la Tabla 14, en ella se puede observar que el promedio aritmético de la Estación 1 fue de 7,6 µg/m³, mediana de 7,4 µg/m³, percentil 25 y 75 de 6,7 µg/m³ y 8,5 µg/m³ respectivamente. En cuanto a la Estación 2 se obtuvo un promedio aritmético de 5,1 µg/m³, mediana de 5,2 µg/m³, percentil 25 de 4,5 µg/m³ y percentil 75 de 5,8 µg/m³. A su vez, para la Estación 3 el promedio aritmético fue de 2,3 µg/m³, mediana de 2,1 µg/m³, percentil 25 de 1,1 µg/m³ y percentil 75 de 3,4 µg/m³. Percibiendo en general, que las concentraciones de este contaminante primario relativamente mayores se evidencian en la primera estación para los 18 días de monitoreo.

Tabla 14. Análisis estadístico de datos: SO₂

DATOS ESTADÍSTICOS	ESTACIÓN 1	ESTACION 2	ESTACION 3
Número de datos	18	18	18
Promedio aritmético	7,6	5,1	2,3

Mediana	7,4	5,2	2,1
Desviación estándar	1,2	1,2	1,3
Parámetro de Distribución T	2,1	2,1	2,1
Intervalo de confianza μ_1	7,0	4,4	1,6
Intervalo de confianza μ_2	8,2	5,7	3,0
Intervalo de confianza	0,6	0,6	0,7
Percentil 25	6,7	4,5	1,1
Percentil 75	8,5	5,8	3,4
Valor más alto registrado	10,1	7,2	5,0
Día de registro	10/03/2019	18/03/2019	24/03/2019
Valor más bajo registrado	5,7	2,1	0,5
Día de registro	12/03/2019	12/03/2019	20/03/2019

Fuente: Autor, 2019.

En la Figura 7Figura 8 se observa un comportamiento fluctuante en las tres (3) estaciones de monitoreo, donde la concentración máxima fue de $10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 10 de marzo y un valor mínimo de $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 12 de marzo para la Estación 1. En relación con la Estación 2, se obtuvo un máximo de $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 18 de marzo y un mínimo de $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 12 de marzo. Con respecto a la Estación 3, su máxima concentración fue de $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 24 de marzo y un mínimo de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 20 de marzo. Estos datos se esperaban debido a los gases de escape de los diferentes medios de transporte del flujo vehicular de la vía, principalmente en la primera estación, ya que se ubicó más cerca que las demás estaciones como se aprecia en la gráfica.

Sin embargo, los valores obtenidos no superan el límite máximo permisible establecido por la norma de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo de exposición de 24 horas, los niveles de SO_2 en el área de estudio no indican efectos negativos en la calidad de aire y por tanto no se presentan altos riesgos para la salud y/o el medio ambiente.

Figura 8. Contenido de SO₂ - Área de influencia del proyecto

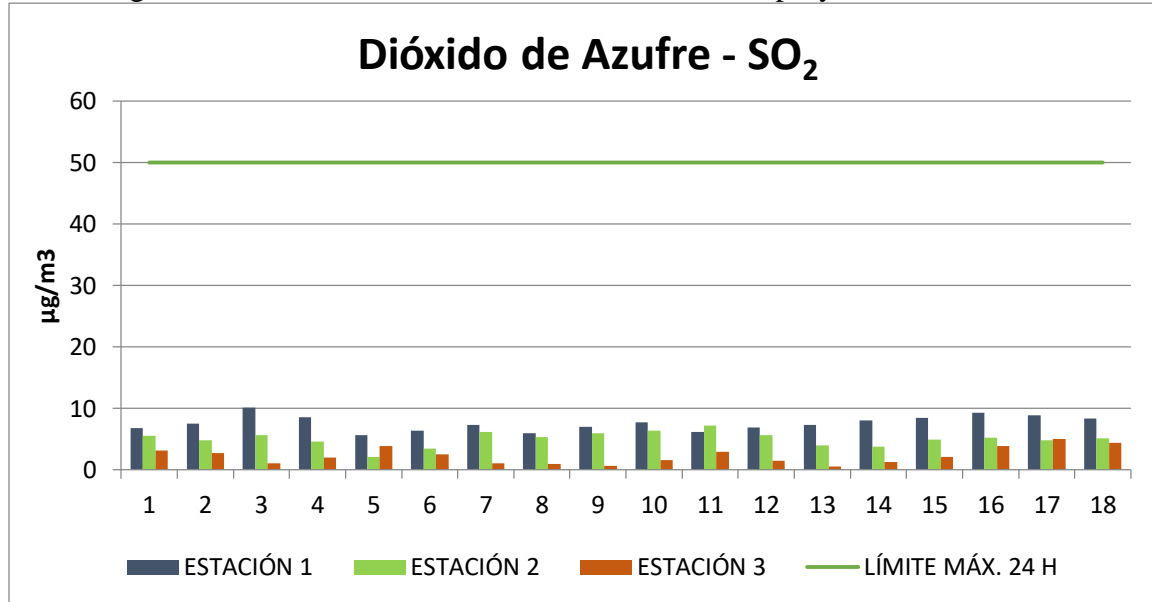


Tabla 15. Resultado de monitoreo de gases: NO₂

DÍA DE MONITOREO		NO ₂ [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 1	8/03/2019	* 9,7	* 6,2	* 8,1
Día 2	9/03/2019	* 9,2	* 6,7	* 9,7
Día 3	10/03/2019	* 11,0	* 6,3	* 10,4
Día 4	11/03/2019	* 8,3	* 5,8	* 7,5
Día 5	12/03/2019	* 6,2	* 5,1	* 6,3
Día 6	13/03/2019	* 6,5	* 6,0	* 7,0
Día 7	14/03/2019	* 7,7	* 6,9	* 6,8
Día 8	15/03/2019	* 8,1	* 7,2	* 7,2
Día 9	16/03/2019	* 8,8	* 6,5	* 8,2
Día 10	17/03/2019	* 9,4	* 7,4	* 7,6
Día 11	18/03/2019	* 11,9	* 8,0	* 7,1
Día 12	19/03/2019	* 10,6	* 6,8	* 8,0
Día 13	20/03/2019	* 9,2	* 6,9	* 7,7
Día 14	21/03/2019	* 9,3	* 6,6	* 6,9
Día 15	22/03/2019	* 9,3	* 5,3	* 6,2
Día 16	23/03/2019	* 8,6	* 6,2	* 5,5
Día 17	24/03/2019	* 9,8	* 5,7	* 5,1
Día 18	25/03/2019	* 9,1	* 6,9	* 6,3

Fuente: Autor, 2019.

Los datos estadísticos de los resultados obtenidos para el contaminante criterio NO₂ de la zona de estudio se encuentran consignados en la Tabla 16, en ella se puede observar que la EST-1 presentó un promedio aritmético de 9,0 µg/m³, mediana de 9,2 µg/m³, percentil 25 y 75 de 8,3 µg/m³ y 9,7 µg/m³ respectivamente. En la EST-2 se reportó un promedio de 6,5 µg/m³, mediana de 6,6 µg/m³, percentil 25 de 6,0 µg/m³ y percentil 75 de 6,9 µg/m³. A su vez, la EST-3 manifestó un promedio de 7,3 µg/m³, una mediana de 7,2 µg/m³, percentil 25 de 6,3 µg/m³ y percentil 75 de 8,0 µg/m³.

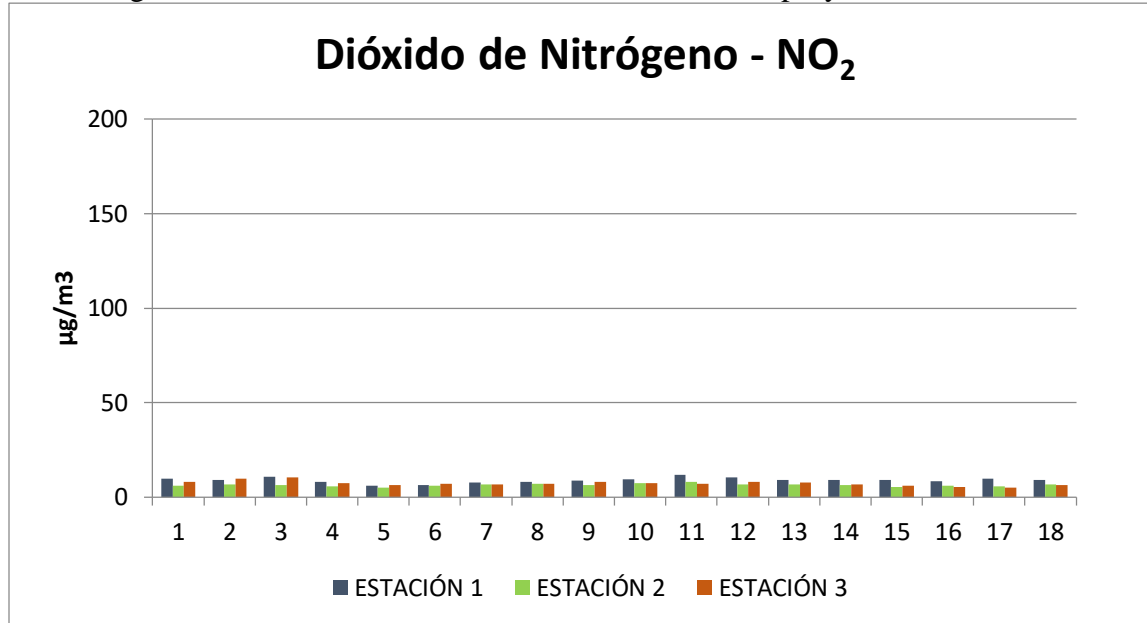
Tabla 16. Análisis estadístico de datos: NO₂

DATOS ESTADÍSTICOS	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	ESTACIÓN 3
Número de datos	18	18	18
Promedio aritmético	9,0	6,5	7,3
Mediana	9,2	6,6	7,2
Desviación estándar	1,4	0,7	1,3
Parámetro de Distribución T	2,1	2,1	2,1
Intervalo de confianza µ1	8,3	6,1	6,6
Intervalo de confianza µ2	9,8	6,9	8,0
Intervalo de confianza	0,7	0,4	0,7
Percentil 25	8,3	6,0	6,3
Percentil 75	9,7	6,9	8,0
Valor más alto registrado	11,9	8,0	10,4
Día de registro	18/03/2019	18/03/2019	10/03/2019
Valor más bajo registrado	6,2	5,1	5,1
Día de registro	12/03/2019	12/03/2019	24/03/2019

Fuente: Autor, 2019.

En la Figura 9 se observa el comportamiento de este parámetro, donde se obtuvo la mayor concentración para la EST-1 de 11,9 µg/m³ el día 18/03/2019, para la EST-2 de 8,0 µg/m³ el día 18/03/2019 y la EST-3 de 10,4 µg/m³ el día 10/03/2019. Las concentraciones más bajas fueron 6,2 µg/m³ para EST-1 y 5,1 µg/m³ para EST-2 y EST-3.

Figura 9. Contenido de NO₂ - Área de influencia del proyecto



Fuente: Autor, 2019.

Tabla 17. Resultado de monitoreo de gases: CO

DÍA DE MONITOREO		CO [µg/m ³]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 1	8/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 2	9/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 3	10/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 4	11/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 5	12/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 6	13/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 7	14/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 8	15/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 9	16/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 10	17/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 11	18/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 12	19/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 13	20/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 14	21/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 15	22/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 16	23/03/2019	* 698	* 698	* 698
Día 17	24/03/2019	* 698	* 698	* 698

DÍA DE MONITOREO		CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Día 18	25/03/2019	* 698	* 698	* 698
Normativa Local 1 hora		34529	34385	34203
Límite máximo permisible por la norma para 1 hora		35000	35000	35000

Fuente: Autor, 2019.

Los datos estadísticos de los resultados obtenidos para el Monóxido de Carbono (CO) de la zona de estudio se encuentran consignados en la Tabla 18. Análisis estadístico de datos: CO30, en ella se puede observar que los resultados de concentraciones presentaron cifras menores (<) al Límite de Cuantificación del Método (LCM), para las tres (3) estaciones en los 18 días del monitoreo, con un valor de $<698 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

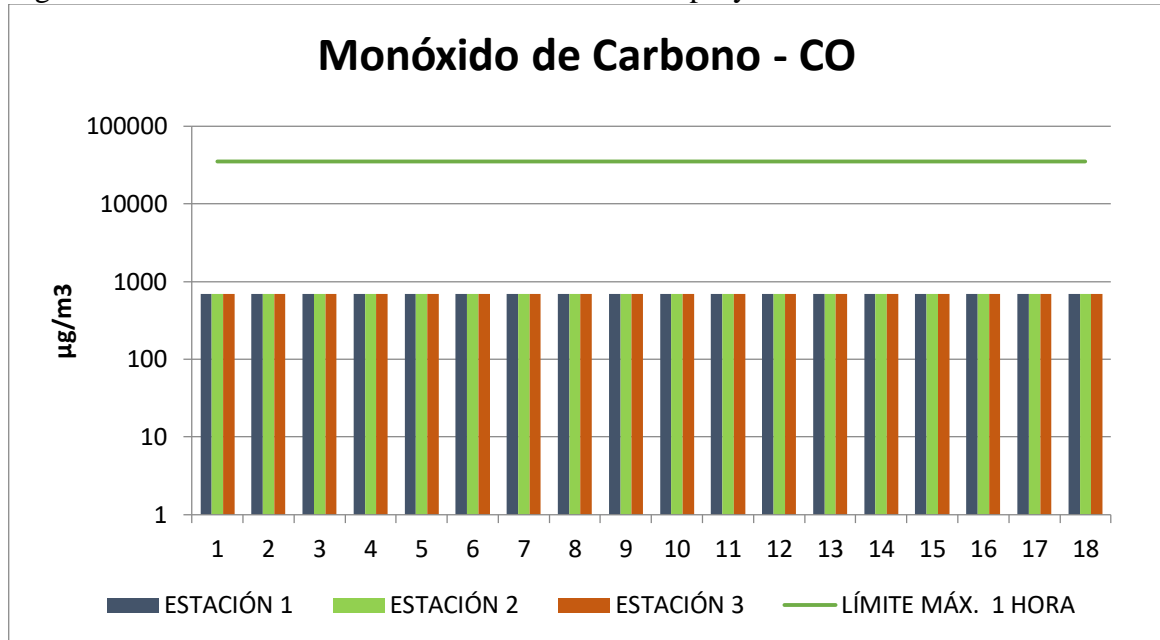
Tabla 18. Análisis estadístico de datos: CO

DATOS ESTADÍSTICOS	ESTACIÓN 1	ESTACION 2	ESTACION 3
Número de datos	18	18	18
Promedio aritmético	698,0	698,0	698,0
Mediana	698,0	698,0	698,0
Desviación estándar	0,0	0,0	0,0
Parámetro de Distribución T	2,1	2,1	2,1
Percentil 25	698,0	698,0	698,0
Percentil 75	698,0	698,0	698,0

Fuente: Autor, 2019.

La Resolución 2254 de 2017 estipula un valor para este contaminante de $35000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una (1) hora de exposición, comparando los resultados obtenidos con el límite máximo permisible por la norma, se pudo determinar que las tres (3) estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto no sobrepasan dicho límite y por ende no hay afectación para la población cercana.

Figura 10. Contenido de CO - Área de influencia del proyecto



Fuente: Autor, 2019.

4.3. Índices de calidad del aire - ICA

Los Índices de Calidad del A (ICA) que se presentan en la Tabla 19 son el reflejo de la caracterización del aire, con respecto a las cantidades de contaminantes que en él se presentan y, por tanto, es posible estimar su calidad según la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones de referencia atmosférica.

Los ICA se obtuvieron mediante los promedios aritméticos que se establecieron por derivación del análisis estadístico aplicado a los datos resultantes, en el muestreo realizado del 08 al 25 de de 2019 y se encuentran representados con sus respectivos colores y descriptores a continuación:

Tabla 19. Índices de calidad del aire determinados en el área de influencia del proyecto

ESTACIÓN	Contaminante			
	PM _{2.5}		PM ₁₀	
	Valor	Descriptor	Valor	Descriptor
Estación 1: Cerca de Caño Aguas Prietas Inicio Variante	43	BUENA	15	BUENA
Estación 2: Vía Chinú (Casco Urbano)	69	ACEPTABLE	24	BUENA
Estación 3: Finca ganadera, final de la variante	50	BUENA	18	BUENA

Fuente: Autor, 2019.

Como se observa en la Tabla 19. Índices de calidad del aire determinados en el área de influencia del proyecto², las concentraciones promedio del Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) para las tres (3) estaciones, presenta una calidad de aire catalogada como Buena, según la clasificación de la Resolución 2254 de 2017, en donde su rango del ICA oscila de 0 a 50 en color Verde, indicando que no muestra alto riesgo para la salud y el medio ambiente no se ve afectado negativamente con respecto a esta contaminación criterio.

En cuanto al Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}), en la primera y tercera estación presenta una clasificación de Buena calidad como la anterior descripción. En cuanto a la segunda estación, la calidad de aire es Aceptable, pues sus valores se encuentran dentro del rango de 51 a 100 en color Amarillo, indicando que la contaminación por este agente puede presentar posibles síntomas respiratorios solo a grupos poblacionales sensibles.

5. CONCLUSIONES

- El número de puntos a muestrear depende de las incidencias más representativas dentro del proyecto a realizar o de las áreas más afectadas por la obra civil a desarrollar; también es importante considerar el tamaño de la obra y los requerimientos de la autoridad ambiental.
- Los parámetros de evaluación de la calidad de aire y su relación con las condiciones ambientales presentes son fundamentales debido a que estas tienen una incidencia positiva o negativa en el ámbito de los procesos de contaminación, siendo esto concluyente en los tipos de calidad de aire que se pueden establecer en diversas horas del día, y ambiental condicionados a las condiciones climáticas en diversas épocas del año, siendo en este contexto la calidad de aire un protocolo muy importante para evidenciar los impactos ambientales de las industrias en la zona y también de la influencia de los parámetros ambientales en el contexto de la gestión ambiental de proyectos de infraestructura o de industria en la zona.
- La toma de datos generales sobre las condiciones de los puntos de muestreo en campo es indispensable para la determinación de los niveles de contaminación del aire.

- Las condiciones meteorológicas son determinantes en los resultados del muestreo de contaminantes pues la dirección, velocidad del viento, lluvias y humedad condicionan el transporte de los compuestos presentes en el aire.

6. RECOMENDACIONES

- El procedimiento de cambio de filtros debe realizarse utilizando guantes, o en lo posible con pinzas de manera que no genere arrugas; el contacto con la piel puede generar absorción de humedad y grasas o pérdida de material particulado.
- El recipiente donde se almacenen las soluciones absorbentes (NO_x y SO_x) debe estar debidamente rotulado día por día, para que no existan confusiones en la organización de las muestras.
- Se deben verificar periódicamente la temperatura de las soluciones absorbentes SO_x y NO_x la cual debe ser de 15°C +o- 10°C.
- Los flujos de los equipos se deben calibrar cuando:
 - ✓ inicia el monitoreo.
 - ✓ se haga cambio de motor.
 - ✓ se cambien escobillas.
 - ✓ se mueva el punto de muestreo.
 - ✓ el equipo ha trabajado más de 360 horas.
 - ✓ Periódicamente cada 3 meses.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDILA, E. K. (15 de octubre de 2017). *Medio Ambiente en el área “está cada vez más grave”*. Obtenido de vanguardia liberal : <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/412681-medio-ambiente-en-el-area-esta-cada-vez-mas-grave>
- Contaminación del aire* . (18 de septiembre de 2018). Obtenido de medlineplus: <https://medlineplus.gov/spanish/airpollution.html>
- Gomez Lopez , r. (2005). *LOS RECURSOS AMBIENTALES: Una reflexión sobre su gestión en el desarrollo del Futuro* . malaga españa : Departamento de Economía Financiera y Contabilidad.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *ideam*. Obtenido de ideam.gov.co: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- Sánchez, J. (18 de junio de 2018). *ecologia verde* . Obtenido de ecologia verde : <https://www.ecologiaverde.com/deterioro-ambiental-definicion-causas-y-consecuencias-1393.html>
- Andes, U. d. (Abril de 2013). Obtenido de <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterización-de-la-contaminación-atmosférica-en-Colombia.pdf>
- Ecured. (s.f.). *Ecured*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Contaminación_del_aire
- EnciclopediaSalonHogar. (s.f.). *EnciclopediaSalonHogar*. Obtenido de https://www.salonhogar.net/Salones/Ciencias/1-3/El_Aire/El_aire.htm
- Española, R. A. (2019). *Real Academia*. Obtenido de <https://dle.rae.es/srv/search/search?w=aire>
- Gaza, I. U. (2014). *Scielo*. Obtenido de Scielo: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v29n3/art02.pdf>
- google earth. (2019).
- Invias. (Abril de 2011). *Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/guia-de-manejo-ambiental-de-proyectos/971-guia-de-manejo-ambiental/file>
- MAVDT. (2007). *Manual de Operacion de Sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Anexos de Procedimientos de Muestreo y Anlisis de contaminantes*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- MAVDT. (2010). *Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire*. Bogota.
- MedlinePlus. (2018). *MedlinePlus*. Obtenido de Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos: <https://medlineplus.gov/spanish/airpollution.html>
- Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire*. Bogotá D.C: nd.
- PSL Proanálisis Ltda. (2016). Instructivo I-023-3 Muestreo de material partícula PM2,5.
- PSL PROANÁLISIS LTDA. (2019). *Organigrama*.
- PSL PROANÁLISIS LTDA. (2019). *organigrama tecnico* . bucaramanga.

salónhogar.net. (s.f.). *compuestos del aire* .

Sostenible, U. (s.f.). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de
[http://www.minambiente.gov.co/index.php/temas-asuntos-ambientales-y-sectorial-
y-urbana/3845-sello-ambiental-colombiano](http://www.minambiente.gov.co/index.php/temas-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana/3845-sello-ambiental-colombiano)

8. ANEXOS

8.1 ANEXO #1

Tabla 20 procedimientos est1

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESTACIÓN 1	
	
PANORÁMICA ESTACIÓN 1	PANORÁMICA ESTACIÓN 1
	
CALIBRACIÓN IN SITU DEL EQUIPO PM₁₀	CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO PM₁₀
	
CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO PM 2.5	CALIBRACION TREN DE GASES



CAMBIO DE SOLUCIONES NO_x Y SO_x



GEOREFERENCIACION

Fuente: autor

8.2 ANEXO #2

Tabla 21 procedimientos est2

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESTACIÓN 2



PANORÁMICA ESTACIÓN 2



PANORÁMICA ESTACIÓN 2



CALIBRACIÓN IN SITU DEL EQUIPO

PM₁₀



CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO

PM₁₀

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



**CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO
PM 2.5**

CALIBRACION TREN DE GASES









CAMBIO DE SOLUCIONES NO_x Y SO_x

GEOREFERENCIACION

Fuente: autor

8.3 ANEXO #3

Tabla 22 procedimientos est3

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESTACIÓN 3	
	
PANORÁMICA ESTACIÓN 3	PANORÁMICA ESTACIÓN 3
	
CALIBRACIÓN IN SITU DEL EQUIPO PM₁₀	CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO PM₁₀
	
CAMBIO DE FILTROS DEL EQUIPO PM 2.5	CALIBRACION TREN DE GASES



CAMBIO DE SOLUCIONES NO_x Y SO_x

Fuente: autor



GEOREFERENCIACION