

**Determinación de SO₂, NO_x-NO₂ en emisiones industriales como posibles
contaminantes atmosféricos**

Dayan Paola Avila Palmezano

Trabajo de grado para optar el título de Química Ambiental

Director

Ciro Eduardo Roza Correa

Magister en Química

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad Química Ambiental

2024

Agradecimientos

En la elaboración de este manuscrito se experimentaron diferentes emociones, hubo momentos en los que caí, también en los que celebre y en los que me preocupe. Sin embargo, siempre estuvieron personas motivándome, regalándome sus buenas vibras y recordándome que puedo lograr lo que me proponga si no me rindo es por eso les doy las gracias a todos; a mi difunta madre-abuela, Lilia Guerra, una mujer luchadora y fuerte que me enseñó a disfrutar las cosas más pequeñas de la vida, hacer lo que me gusta y confiar en el camino que estoy eligiendo de corazón.

Agradezco a mis padres, Luis y Yobana por apoyarme en mis sueños, confiar en mis habilidades y empujarme a ir hacia adelante. A mis hermanas Michell y Evaniz, a mis tías y tíos, por darme su fe y su buen sentido del humor para reír cuando se quiere llorar, a mis mascotas por darme cariño, por querer jugar cuando tenía que ponerme a escribir.

Al tutor Ciro Eduardo Roza por sus explicaciones, consejos y guías en el transcurso de la carrera para adaptarme al entorno y por su acompañamiento en el desarrollo de este manuscrito. A Luz Miriam Parra por su buena dirección en el laboratorio, su confianza y sus recomendaciones en la empresa, en ella encontré una buena jefa y amiga. Agradezco a los amigos que estuvieron para recordarme que si nuestro entorno está lleno de explosiones hay que tomarse un güalilo un miércoles, un helado un domingo, relajarse y que sea lo que Dios quiera. Si nos caemos nos levantamos y lo volvemos a intentar, gracias a Karol Clavijo, Slendy Velandia, Elizabeth Jiménez, Sergio Bastidas, Milthon Pacheco y Ricardo Sánchez.

Contenido

Introducción	11
1. Objetivos.....	15
1.1. Objetivo general	15
1.2. Objetivos específicos.....	15
2. Marco referencial.....	15
2.1 Marco teórico	15
2.1.1. Localización corregimiento La Fortuna – Santander	19
2.1.2. Localización municipio Sabana de Torres – Santander.....	20
2.2 Estado del Arte	21
2.3 Marco legal	24
2.3.1. Norma INTE/ISO/IEC 17025 de 2017	24
2.3.2. Resolución 2254 del 2017	25
2.3.3. Resolución 1742 de 2018	26
3. Método	27
3.1. Reactivos y equipos.....	27
3.1.1 Reactivos para el método de pararrosanilina (SO ₂).....	27
3.1.2 Equipos para el método de pararrosanilina (SO ₂)	29
3.1.3 Reactivos para el método ácido fenoldisulfónico (NO _x).....	29
3.1.4 Equipos para el método ácido fenoldisulfónico (NO _x).....	30
3.2. Procedimiento.....	31
3.2.1. Método US-EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina	31

3.2.2. Método US-EPA CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico	
Ácido Fenoldisulfónico	35
4. Resultados y Discusión	36
4.1. Resultados del análisis de SO ₂ en emisiones industriales	36
4.1.1. Parte 1: Resultados de la curva de calibración del SO ₂	36
4.1.2. Parte 2: Resultados de los controles de calidad del SO ₂	37
4.1.3. Parte 3: Resultados las muestras de SO ₂ en zonas industriales	38
4.1.4. Parte 4: Análisis de las concentraciones en las muestras de SO ₂ en aire	40
4.2. Resultados del análisis de NO _x .NO ₂ en fuentes fijas	42
4.2.1. Parte 1: Resultados de la curva de calibración del NO _x	42
4.2.2. Parte 2: Resultados de los controles de calidad del NO _x	43
4.2.3. Parte 3: Resultados de las muestras de NO _x en fuentes fijas y la muestra ciega	44
4.2.4. Parte 4: Análisis de las concentraciones de NO _x -NO ₂ en fuentes fijas	45
4.3. Impactos de ambientales y en la salud por los contaminantes de SO ₂ y NO _x -NO ₂	47
5. Conclusiones	49
6. Recomendaciones	51
Referencias	52

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Estructura general de la norma INTE/ISO/IEC 17025 de 2017</i>	24
Tabla 2. <i>Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire</i>	25
Tabla 3. <i>Estandarización tiosulfato de sodio</i>	32
Tabla 4. <i>Estandarización Sulfito</i>	33
Tabla 5. <i>Preparación de los estándares de SO₂</i>	33
Tabla 6. <i>Controles de calidad SO₂</i>	38
Tabla 7. <i>Resultados de las muestras de SO₂</i>	38
Tabla 8. <i>Duplicado de las muestras de SO₂</i>	40
Tabla 9. <i>Controles de calidad NO_x</i>	43
Tabla 10. <i>Muestras de NO_x</i>	44
Tabla 11. <i>Muestra ciega de NO_x</i>	45

Lista de figuras

Figura 1. <i>Mapa general de Barrancabermeja (ubicación de La Fortuna).</i>	20
Figura 2. <i>Mapa general de Sabana de Torres</i>	21
Figura 3. <i>Curva del calibración del SO₂.</i>	37
Figura 4. <i>Variación de las concentraciones del SO₂ en el periodo de muestreo</i>	40
Figura 5. <i>Curva de calibración del NO_x</i>	43
Figura 6. <i>Variación de las concentraciones del NO_x en el periodo de muestreo.</i>	45

Glosario

Absorbancia: la absorbancia es una medida de la radiación que absorbe una sustancia cuando sobre ésta incide las ondas electromagnéticas generalmente en la región visible de una determinada longitud de onda (Vidal y Vargas, 2014, p.50).

Blanco de reactivos: agua pura que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos solventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra (IDEAM, 2020, p.2).

BLF: un blanco de laboratorio fortificado es una muestra de agua de reactivo a la que se ha añadido una concentración conocida del analito de interés. Se utiliza para evaluar el desempeño de laboratorio (IDEAM, 2020, p.2).

Control de calidad: son mecanismos diseñados para detectar, reducir, prevenir y corregir posibles errores, interferencias o contaminaciones antes de emitir determinados resultados de muestras (Pérez, 2021).

Curva de calibración: relación existente entre la respuesta de señales del instrumento y diversas concentraciones del analito en un disolvente o matriz apropiados (UNODC, 2012, p.9).

Duplicado: es otra alícuota de la misma muestra, tomada cuando la muestra ha sido homogenizada convenientemente (IDEAM V-01, 2020, p.3).

Emisiones: es la descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía, de cualquier fuente susceptible para producir contaminación. (Risctox, 2010)

Estandarización: proceso que permite la determinación exacta de la concentración de una solución (Lifeder, 2022).

LCM: es la concentración de analito que produce una señal suficientemente más fuerte que el blanco, de modo que se puede detectar con un nivel específico de confiabilidad durante las operaciones (IDEAM, 2020, p.2).

Muestra: es cada sistema físico que sea sometido a la metodología de análisis (IDEAM, 2020, p.2).

Muestra ciega: muestra cuyo carácter de muestra de control no es conocido por el analista en el momento de realizar el análisis (UNODC, 2012, p.15).

Resumen

La calidad del aire se ha visto afectada por contaminantes atmosféricos tales como SO₂ y NO_x que contribuyen a la formación de compuestos secundarios que son un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, este problema ha aumentado en la actualidad debido a las actividades antropogénicas, entre ellas, las que más ejercen impactos negativos sobre la atmosfera son las emisiones industriales, por lo tanto, la vigilancia y control de la calidad del aire se ha vuelto un factor importante para las autoridades ambientales. Por eso, en el presente trabajo se analizaron las concentraciones de estos contaminantes principales con muestras transportadas desde el corregimiento de La Fortuna y el municipio Sabana de Torres siguiendo los lineamientos de los métodos US-EPA CFR que se indican en la resolución 1742 de 2018 con el fin de realizar los ensayos analíticos y evaluar el impacto de estos compuestos sobre la atmosfera, obteniéndose que estos contaminantes no exceden el límite permisible al finalizar el muestreo pero se dan concentraciones alarmantes en el NO_x durante un corto lapso de tiempo.

Palabras clave: calidad del aire, contaminantes, emisiones, industrias, muestras

Abstract

Air quality has been affected by atmospheric pollutants such as SO₂ and NO_x that contribute to the formation of secondary compounds that are a risk to human health and the environment, this problem has increased today due to anthropogenic activities, Among them, those that exert the most negative impacts on the atmosphere are industrial emissions, therefore, the monitoring and control of air quality has become an important factor for environmental authorities. Therefore, in the present work, the concentrations of these main contaminants were analyzed with samples transported from the township of La Fortuna and the Sabana de Torres municipality following the guidelines of the US-EPA CFR methods indicated in resolution 1742 of 2018 with in order to carry out analytical tests and evaluate the impact of these compounds on the atmosphere, obtaining that these pollutants do not exceed the permissible limit at the end of the sampling but alarming concentrations occur in NO_x during a short period of time.

Keywords: air quality, pollutants, emissions, industries, samples

Introducción

La contaminación atmosférica conlleva a uno de los problemas más influyentes en nuestro planeta, el origen de los gases que contaminan el aire pueden ser producidos de forma natural como las erupciones volcánicas, incendios naturales, huracanes o de forma antropogénica la cual se considera la mayor contribuyente a disparar los niveles de dióxido de carbono, óxidos de nitrógenos y la formación de otros gases dañinos en el aire debido a la quema de combustibles fósiles como es el petróleo y el carbón provocado por las industrias o las emisiones de automóviles. Esta situación ha generado un problema real y visible para nuestros ojos siendo registrado a través del tiempo como por ejemplo el caso de la gran niebla que cubrió Londres en 1952 a causa del uso constante de chimeneas para combatir las bajas temperaturas el cual convirtió el humo del carbón en una niebla mortal de hasta 200 metros de espesor y con cada frío en la ciudad se emitían 1000 toneladas de humo y 2000 de dióxido de carbono que quedaba atrapado en la atmosfera y se mezclaba con partículas de agua para convertirse en ácido sulfúrico envolviendo la ciudad en una espesa niebla toxica el cual causo unas 12000 muertes y aumentando el asma infantil en 8% ocasionando que el gobierno británico declarara el aire limpio como una prioridad legislativa (Blakemore, 2022). Otra situación extrema de la contaminación atmosférica fue en Donora, Pensilvania donde se formó una niebla venenosa y oscura que invadió el pueblo en 1948 tomando en el acto la vida de 20 personas que además dejó a casi 400 personas con problemas severos de respiración debido a dos grandes fábricas que se dedicaban a la producción de cobre y zinc proporcionando a la atmosfera fluoruro de hidrogeno, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno a gran escala creando una gran niebla altamente toxica. Y aunque se registraron 20 muertes la realidad es que se demostró que más de 50 personas habían fallecido y aquello había disminuido

la población del pueblo significativamente ante esta trágica historia crearon una ley para regular las emisiones en los Estados Unidos que fue aprobada en 1963. (Bohórquez, 2022).

Si bien es entendible que los recursos naturales son de gran importancia para nuestra sociedad, debido a que dependemos de ellos para nuestra supervivencia y desarrollo. Debemos comprender que para la obtención de estos recursos el ser humano ocasiona daños en el medio ambiente y repercusiones sobre la salud, en la actualidad la atmósfera es uno de los más afectados debido a la contaminación que se ha incrementado con el desarrollo de las actividades antropogénicas. Como se evidenciaron en los casos anteriores compuestos como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxidos de carbono, entre otros, son responsables de esta problema y puede dejar huellas irreversibles, perjudicando a los seres vivos del planeta junto a los ecosistemas, debido a que se generan fenómenos que lo afectan como la lluvia ácida la cual contiene contaminantes que se trasladan a distintos lugares causando daño en las regiones y sus ecosistemas cercanos (Garcés y Hernández, 2019).

Compuestos como el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno que son contaminantes primarios precursores de la lluvia ácida debido a las interacciones con la radiación solar y la humedad en el aire (Seinfeld y Pandis, 1963), ha generado la necesidad de realizar investigaciones y análisis a través de diversas metodologías para prevenir tragedias por esta problemática entre estos estudios se encuentra el trabajo del laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira donde realizaron la validación del método espectrofotométrico de Tetracloromercurato-Pararosanilina para el análisis de SO₂ y el colorimétrico para NO_x demostrando que el método es aplicable para estos contaminantes, referente a las concentraciones mencionaron que en la ciudad el SO₂ no presenta altas concentraciones pero el NO_x tiene concentraciones variables y altas (Carvajal y Morales, 2010). Otras investigaciones es el trabajo

de grado de Aldair Gutiérrez en este se realizó un seguimiento al SO₂, NO₂ y CO utilizando equipos RACK para evaluar la calidad del aire en Montería por la preocupación que genera la contaminación atmosférica se dio cuenta que si bien estos cumplieron con lo dictado en la resolución 2254 de 2017, es decir, las concentraciones fueron bajas y explicaron que se debe a factores como las épocas de lluvias, los vientos y la baja industrialización de la zona, aun así, estos compuestos causan un daño al suelo que es donde se terminan depositando. (Gutiérrez, 2021). Este tipo de estudios son importantes en la actualidad porque son un apoyo para establecer indicadores, vigilancia y controles que permitan disminuir el impacto negativo sobre la calidad del aire.

Colombia, ha mostrado su preocupación e interés por la implementación de sistemas de vigilancia debido a los índices de morbilidad y mortalidad relacionadas con la contaminación atmosférica ocasionando la formulación de la Estrategia Nacional de Calidad del aire (Minambiente, 2019) y como respuesta a esto diferentes ciudades colombianas como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla hayan empezado con procesos y planes para el control de esta contaminación, en el departamento de Santander, Bucaramanga y su área metropolitana no han sido la excepción para la implementación de sistemas de vigilancia en la capital. Sin embargo, aunque su proyecto tiene la finalidad de realizar control y seguimiento de la calidad del aire y olores ofensivos es importante implementar estos sistemas en los municipios de Santander que son afectados por los procesos industriales, para cumplir este objetivo de investigación sobre la calidad del aire en Colombia se ha realizado el siguiente trabajo de grado ejecutando los tratamientos y análisis de las muestras de estos contaminantes principales (SO₂ y NO_x-NO₂) en el Laboratorio de SIAM Ingeniería S.A.S en Piedecuesta, empresa a la que fueron transportadas las muestras de municipios del departamento siendo Sabana de Torres, un municipio con mucha influencia de los

sectores industriales, y La Fortuna un corregimiento ubicado en el municipio de Barrancabermeja, donde se encuentra poca influencia de las actividades industriales.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar las concentraciones de SO₂ y NO_x-NO₂ producto de las emisiones industriales con el fin de conocer su impacto ambiental en el corregimiento de La Fortuna y el municipio Sabana de torres ubicados en el departamento de Santander como complemento a la práctica empresarial.

1.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración de SO₂ en zonas industriales siguiendo la norma de la US EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina.

Implementar el método colorimétrico para la determinación de NO_x en fuentes fijas según la US-EPA CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico Ácido Fenoldisulfónico.

Analizar los resultados de SO₂, y NO_x-NO₂ respecto a los límites máximos aceptados por la resolución colombiana 2254 del 2017.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia de compuestos químicos que implican una molestias o riesgos para la salud de los seres vivos. Está también puede reducir la visibilidad, producir olores ofensivos. El IDEAM define a la contaminación atmosférica como *“la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que*

pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente”. Los contaminantes en el aire pueden ser de dos tipos:

- Contaminantes primarios: son los emitidos directamente a la atmosfera por una fuente de emisión. (Minambiente, 2023).
- Contaminantes secundarios: son aquellos productos de reacciones en la atmosfera a partir de los primarios con otras especies atmosféricas. (Minambiente, 2023).

La transferencia e impactos ambientales de los contaminantes emitidos depende de la fuente de emisión, las variables meteorológicas, la concentración, las características del receptor y el tiempo de exposición (Minambiente, 2023). Algunos de los principales contaminantes que contribuyen a la formación de contaminantes secundarios son:

- El óxido de azufre (SO_x): es un gas incoloro que se encuentra en el aire o disuelto en gotas de agua en la atmosfera. Produce irritación en ojos, vías respiratorios y mucosa, sus fuentes de emisión se dan por la combustión de sustancias que tienen azufre, quemadores industriales que poseen carbón y gas óleo. Además, contribuye en la formación de compuestos junto al NO_x que ocasionan la lluvia acida. (IDEAM, 2011)
- El óxido de nitrógeno (NO_x): es un compuesto producido de forma directa e indirecta por la quema de combustibles a temperaturas altas. En la combustión, el nitrógeno se oxida para formar NO y en una proporción menor el NO₂. También, el NO se transforma en NO₂ por reacciones fotoquímica que es el más importante desde el punto de vista de la salud que causa irritaciones, problemas pulmonares y en la vías respiratorias. (Ministerio de Ambiente, 2022)

La contaminación en el aire no solo presenta un riesgo a la salud sino también la sostenibilidad del planeta en diferentes niveles: global con el cambio climático, que se puede producir debido al debilitamiento en la capa de ozono por las emisiones de esos contaminantes, geográfico con la polución del aire que es la degradación en la calidad del aire expresado cuando la concentración de estos compuestos atmosféricos supera los valores límites establecidos y perjudican a la población. Según la organización mundial de salud 4.2 millones de personas mueren anualmente por las enfermedades producidas por la mala calidad de aire, incluso la contaminación del aire aumento severamente los síntomas producidos en la pandemia por el COVID-19. Es por esto, que la disminución de la contaminación atmosférica consecuencia de la suspensión de actividades industriales y el uso de los vehículos paradójicamente ayudo en parte a la reducción del número de muertes esperadas por la contaminación (Roser, 2021). Es de destacar, que esta situación generó un nuevo enfoque sobre implementar políticas de movilidad sostenibles para reducir este problema ambiental, teniendo en cuenta las acciones contra el cambio climático.

En Colombia, la contaminación atmosférica ha sido uno de los principales problemas ambientales. Debido a que genera grandes efectos negativos, observando el análisis del documento Conpes 3344 de 2005 la contaminación del país es causada principalmente por los combustibles fósiles. Las emisiones grandes de material particulado, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono están ocasionadas por las fuentes móviles mientras que los óxidos de azufre y partículas suspendidas totales se forman por las fuentes fijas (Colombia, 2010). Ocasionando que, en zonas urbanas, que es donde se sufren más estos efectos, la exposición a compuestos atmosféricos se haya relacionado con el aumento en el riesgo de mortalidad y morbilidad por las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, esta contaminación es el tercer factor generador de costos sociales después de la contaminación del

agua y los desastres naturales. De acuerdo, con el estudio del Departamento Nacional de Planeación, en 2015 la mala calidad del aire ocasionó 8 mil muertes anuales en el país con costos de 12,2 billones de peso equivalente a 1,5% de PIB en ese año (Minsalud, 2021).

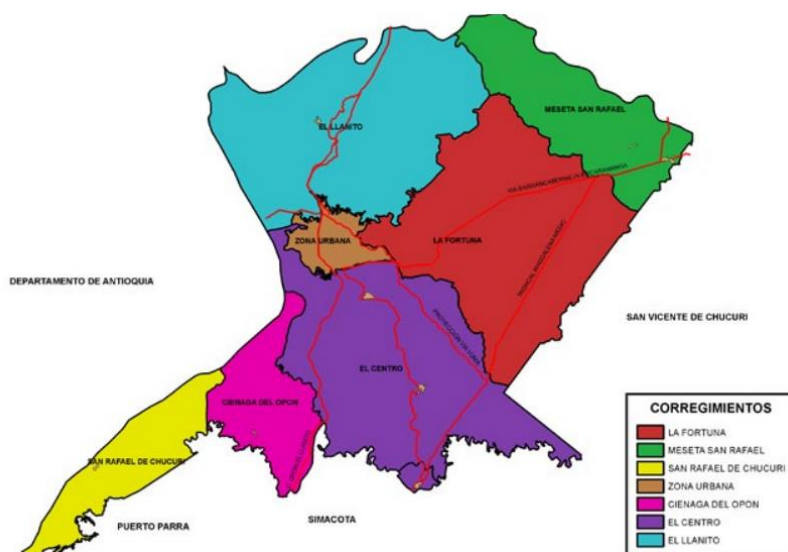
Por lo tanto, se ha buscado un enfoque para mitigar, controlar y mantener el seguimiento de estos agentes como es el Sistema de Vigilancia Calidad del Aire, con la intención de proteger la salud humana y el medio ambiente es necesario involucrar metodologías, tecnologías y normativas que permitan obtener las estrategias de prevención y control de la contaminación en el país. El monitoreo constante de los contaminantes que más afectan a la población como es el óxido de nitrógeno y el óxido de azufre es necesario para mantener seguimiento de las concentraciones de estos contaminantes en la atmosfera cerciorándose que no superen los limites permisibles mencionados en la Resolución 2254 de 2017 y de ser el caso tomar las medidas programadas para la disminución del compuesto. De estas indagaciones surge la importancia de analizar los contaminantes atmosféricos más influyentes en la calidad del aire en nuestro territorio colombiano, para evaluar las concentraciones y conocer las metodologías analíticas aplicadas para la obtención de los diferentes compuestos químicos, información que permitirá demostrar al cliente y/o a las autoridades ambientales el cumplimiento de las normativas necesarias en la protección del medio ambiente y en la salud de la población así mismo preparar sistemas de prevención y mejora continua.

En 2021 la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) tuvo que avanzar en un proceso de instalación de sistemas de alertas tempranas para la medición de olores ofensivos en Bucaramanga debido a los malos olores que se generaban principalmente por las zonas industriales de la capital de Santander. A través de los equipos modernos se vigilaría en tiempo real las concentraciones de olores que pueden llegar a la población

y permitirle evaluar si las empresas se están pasando de los niveles permitidos principalmente para el H₂S, PM₁₀, PM_{2.5}. Sin embargo, para mejorar la cobertura y la información en Bucaramanga se dispondrán a modernizar el sistema de vigilancia en calidad del aire con cuatro estaciones para medir los contaminantes con el criterio establecido en la Resolución 2254 de 2017 siendo no solo PM₁₀ y PM_{2.5} sino también dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono. Sin embargo, aunque el proyecto tiene como finalidad realizar control y seguimiento a la calidad del aire en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana se deben tomar en cuenta otros sectores cercanos y/o municipios de Santander que su calidad de aire se pueda ver afectada por estas actividades antropogénicas (CDBM, 2021) de esta forma asegurarse de tomar acciones preventivas en otras zonas que requieran implementar sistemas de medición, vigilancia y/o prevención, por lo tanto, es indispensable para la calidad del aire cuantificar las concentraciones de estos contaminantes. Para esta investigación se analizar las muestras transportadas de dos sectores diferentes del departamento de Santander, siendo la Fortuna y Sabana de torres.

2.1.1. Localización corregimiento La Fortuna – Santander

Este corregimiento se encuentra en el municipio de Barrancabermeja se encuentra en la zona oriental del municipio, tiene el casco urbano a orillas de la vía que va hacia Bucaramanga. Tiene 6 veredas La Fortuna, el Zarzal, Tapazón, Peroles, San Luis y Comuneros y está conformado por 14 veredas. Sus promedios climáticos son durante el día 21°C y 25°C, en la noche entre 13°C y 16°C, llueve aproximadamente 258 días. Su actividad económica se basa cultivar productos agrícolas, ganadería, negocios en la vía, campos petroleros, artesanía. La población se abastece de pozos artesanales, lluvia y fuentes superficiales de agua (Núñez A, 2019). En la figura 1 se puede apreciar la localización geográfica de La Fortuna, siendo la zona de color rojo.

Figura 1. Mapa general de Barrancabermeja (ubicación de La Fortuna)

Tomado de Alcaldía de Barrancabermeja, (2016).

2.1.2. Localización municipio Sabana de Torres – Santander

El municipio tiende a considerarse como una zona de tierras planas, sin embargo, posee grandes atributos de relieve local, en su parte más central se hallan terrazas, algunas esta bajas debido al uso de sus suelos y su dinámica natural, además en la parte noroccidental se encuentran ecosistemas humedales. Este municipio, se encuentra geográficamente en el Noroeste del departamento de Santander, hay muchos sectores productivos como el minero, maderero, agropecuario, cultivos de palmas, ganadería, actividades petroleras, comercialización y producción (Roció, 2018). Sus climas durante el transcurso del año generalmente varían entre 24°C a 31°C, en pocas ocasiones baja de los 23°C o sube de 34°C. En la figura 2, se muestra el mapa de este municipio que hace parte de Santander.

Figura 2. *Mapa general de Sabana de Torres*

Tomado de Pérez, (2017).

2.2 Estado del Arte

Carvajal y Morales en 2010, en el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira, en busca de la certificación realizó la validación del método espectrofotométrico de Tetracloromercurato-Pararrosanilina del análisis de dióxido de azufre y el colorimétrico para óxidos de nitrógeno en aire siguiendo los protocolos del IDEAM obteniendo que en estos métodos se presenta una buena linealidad en la curva de calibración encontrando que el límite de detección para la curva de SO_2 es 0.024 mg/L en 24h y 0.098 mg/L para NO_x en 1h diferente a lo expuesto en la resolución. Respecto a las concentraciones, concluyeron que en la ciudad no se encuentran altas concentraciones, debido a que en el equipo los datos de las muestras con SO_2 daban por debajo del límite de detección, sin embargo, con el NO_x los resultados eran más variables por lo que este contaminante se encuentra en mayores concentraciones.

ENEL CONDENSA S.A. E.S.P, en contrato con INGEDISA S.A. y SERAMBIENTE S.A.S realizaron un monitoreo de aire en la Subestación eléctrica occidente en el municipio Funza, seleccionando dos estaciones para tomar muestras de contaminante como PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO y NO₂. En este caso, para el análisis de SO₂ siguieron los protocolos de calidad del aire mediante el U.S EPA CFR título 40, Parte 50, apéndice A-2: Pararosanilina. Este método le sirvió para obtener el cálculo de inmisión máximo, mínimo y promedio a partir de las muestras que recolectaron día de por medio durante 36 días de monitoreo evidenciando que esas estaciones se encontraban cumpliendo un 100% con el límite máximo permisible de 50 ug/m³ para un periodo de 24h según lo establecido en la resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS. Por lo que, el aire presenta una buena calidad referente a este contaminante y no presenta un riesgo alto en la salud de la población (Cabarcas, 2021).

Gutiérrez en 2021 como trabajo de grado realizó un monitoreo del SO₂, NO₂ y CO para identificar la calidad del aire en Montería durante el 20 de septiembre de 2019 al 20 de octubre debido a la preocupación que genera la contaminación atmosférica en este caso para la medición utilizaron 4 equipos RACK de los cuales midieron de forma continua los gases, y 1 equipo analizador automático para el monóxido de carbono. Los resultados que obtuvieron es que los parámetros cumplen con lo mencionado en el artículo 2 de la Resolución número 2254 del 01 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, debido a que las mediciones son bajas respecto al límite permisible concluyendo que la causa de factores como poca industrialización, los vientos que dispersan las partículas, las épocas de lluvias que disminuyen las concentraciones al reaccionar con estos contaminantes sin embargo esto no es una solución debido que causan deposición de partículas que dañan el suelo.

En el municipio de Barrancabermeja se realizó un análisis de la calidad del aire de los contaminantes atmosféricos tales como PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃, CO, H₂S en los años 2011, 2012 y desde enero hasta marzo del 2013 para identificar la relación con los factores meteorológicos tras las investigaciones y monitoreo con los equipos obtuvieron como resultado que contaminantes como PM₁₀, NO₂, O₃, H₂S superaron los niveles permisibles exigidos en la resolución 610 de 2010. En su investigación concluyeron que las concentraciones de SO₂ y NO₂ no superaron los valores máximos permisibles, sin embargo, el NO₂ si supera la norma horaria en los años 2011 y 2012, y que este compuesto aumenta en la noche cuando no hay presencia de radiación solar con la cual reaccionar junto a otros para provocar O₃ el cual es un contaminante que aumenta en el día. Mientras que el CO no supero el límite permisible, el PM₁₀ presentaba niveles altos y en ocasiones bajas debido a las lluvias y el H₂S supera el umbral permisible por lo tanto concluyeron que es muy necesario la implementación de controles de calidad en el municipio y estar reportando los análisis que se obtengan en el estudio de estos compuestos (Hernández, 2014).

Al ser Barrancabermeja un municipio localizado en el departamento de Santander siendo la zona geográfica objeto de estudio de este proyecto, se demuestra con la investigación del párrafo anterior la importancia de cuantificar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos que representan un riesgo para la calidad del aire ocasionando afectaciones en la salud y contaminación al entorno afectando las poblaciones y los ecosistemas cercanos a estas zonas, ya que estas partículas pueden dispersarse por las factores meteorológicos. Además, es de resaltar que La Fortuna es un corregimiento de este municipio, por lo que, con este trabajo se puede determinar cómo ha sido el comportamiento de las concentraciones de SO₂ en este último tiempo.

2.3 Marco legal

2.3.1. Norma INTE/ISO/IEC 17025 de 2017

Para realizar todos los trabajos generales y asegurar las competencias en los ensayos el laboratorio se rige por la norma INTE/ISO/IEC 17025 de 2017 en donde se presentan “los requisitos generales para las competencias de los laboratorios de prueba y calibración” ese documento fue desarrollado con objetivo de promover la confianza en las operaciones de los laboratorios su estructura es presentada en la tabla 1. (INTECO, 2017)

Tabla 1. Estructura general de la norma INTE/ISO/IEC 17025 de 2017

INTE/ISO/IEC 17025 de 2017	
1. Objeto y campo de aplicación	5. Requisitos relativos a la estructura
2. Referencias normativas	6. Requisitos relativos a los recursos
3. Términos y definiciones	7. Requisitos del proceso
4. Requisitos generales	8. Requisitos del sistema de gestión

Este documento contiene los requisitos necesarios para que se generen resultados válidos y confiables en el laboratorio, algunos de estos requisitos son:

Imparcialidad 4.1.1 “Las actividades del laboratorio se deben llevar a cabo de una manera imparcial y estructurada, y se deben gestionar para salvaguardar la imparcialidad.”

Confidencialidad 4.2.4 “El personal, incluido cualquier miembro de comité, contratista, personal de organismos externos o individuos que actúen en nombre del laboratorio debe mantener la confidencialidad de toda información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio, excepto lo requerido por ley”

Personal 6.2.1 “Todo el personal del laboratorio ya sea interno o externo, que puede influir en las actividades de laboratorio debe actuar imparcialmente, ser competente y trabajar de acuerdo con el sistema de gestión del laboratorio.”

Instalaciones y condiciones ambientales 6.3.1 “Las instalaciones y las condiciones ambientales deben ser adecuadas para las actividades del laboratorio y no deben afectar adversamente a la validez de los resultados.”

2.3.2. Resolución 2254 del 2017

En la legislación ambiental para aire, en la república de Colombia existen una serie de normativas y resoluciones necesarias a seguir para la ejecución de estos proyectos. En la calidad del aire es importante mencionar principalmente los valores máximos permitidos para estos contaminantes analizar como SO₂, NO_x, material particulado, entre otros. En este aspecto, se tiene en cuenta la resolución 2254 del 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017) en el capítulo 1 “Objeto, ámbito de aplicación y niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire”

2.3.2.1. Artículo 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio. En la tabla 2 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio que regirán a partir del primero de enero del año 2018.

Tabla 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire

Contaminante	Nivel máximo permisible (ug/m ³)	Tiempo de exposición
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual

Contaminante	Nivel máximo permisible (ug/m ³)	Tiempo de exposición
	50	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Parágrafo 3. Las autoridades ambientales competentes deben realizar las mediciones de los contaminantes criterio establecidos en el presente artículo, de acuerdo con los procedimientos, frecuencias y metodologías establecidas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017)

2.3.3. Resolución 1742 de 2018

Así mismo se sigue la resolución 1742 de 2018 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales el cual resuelve:

Artículo 2. Extender el alcance de la acreditación para producir información cuantitativa física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las Autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables a la sociedad SERVICIOS DE CONSULTARIA, INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA S.A.S., para las siguientes variables bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración” versión 2005 (IDEAM, 2018).

2.3.3.1. Matriz aire – Calidad del aire. Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de dióxido de azufre SO₂: U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina.

2.3.3.2. Matriz Aire – Fuentes fijas. Análisis de laboratorio para la determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno desde fuentes estacionarias: U.S. EPA CFR, título 40, parte 60, Apéndice A-4, Método 7.

3. Método

Los métodos de investigación que se utilizaron son de tipo experimental, para cada uno se usaron diferentes reactivos, equipos y procedimientos.

A cada técnica analítica se le realizó su respectivo montaje solicitado en la norma, en cual se identificaron los reactivos, las soluciones y los equipos necesarios para el desarrollo experimental en el laboratorio y finalizando cada procedimiento con el uso del espectrofotómetro para la lectura de la absorbancia en los compuestos atmosféricos.

3.1. Reactivos y equipos

3.1.1 Reactivos para el método de pararrosanilina (SO₂)

Agua destilada.

Solución Absorbente de Tetracloromercurato de Potasio (TCM) [0,04M]: se disolvió 10,86 g de cloruro de mercurio (HgCl₂), 0,066 g de EDTA sal sódica y 6,0 g de cloruro de potasio (KCl)

en 500 mL de agua destilada y luego se llevó a volumen de 1000 mL en un balón aforado, con agua. Se revisaba que el pH estuviera en un rango de 3,0 a 5,0 unidades.

Ácido Sulfámico, 0,6%: se pesaron 0,6 g de ácido sulfámico en 100 mL de agua destilada.

Formaldehído, 0,2%: se diluyeron 0,5mL de solución de formaldehído (36 a 38%) a 100 mL con agua destilada.

Solución madre de Yodo o stock de yodo [0,1N]: se pesaron 12,7 g de yodo en un vaso precipitado, se adicionaron 40 g de yoduro de potasio y 25 mL de agua destilada, tras disolverse se llevó a un balón aforado de 1000 mL aforando con agua destilada.

Solución de yodo [0,01N]: se tomaron 50 mL de solución stock de yodo [0,1N] y se aforo en balón de 500 mL con agua destilada.

Solución indicadora de almidón: para esta solución se trituraron 0,4 g de almidón soluble y 0,002 g de yoduro de mercurio con suficiente agua destilada para formar una pasta. Luego, se añadió la pasta lentamente a 200 mL de agua destilada hirviendo y se dejó hervir hasta que se disolviera completamente. Luego se guardó en un recipiente de vidrio.

Ácido Clorhídrico [1N]: se midieron 86 mL de ácido clorhídrico concentrado y lentamente se agregó en 500 mL de agua destilada. Por último, se aforó a 1000 mL con agua destilada.

Solución de Yodato de Potasio: se pesó 1,5 g $\pm$ 0,1 mg de yodato de grado estándar primario que había sido secado a 180 °C durante 3 horas y enfriado en un desecador. Estos 1,5g se disolvieron con agua destilada en un balón aforado de 500 mL.

Solución stock de Tiosulfato de Sodio [0,1 N]: se disolvieron 25 g de tiosulfato de sodio pentahidratado en 1000 mL de agua destilada recientemente hervida y enfriada. A esta solución se le agregó 0,1 g de carbonato de sodio. Permitiendo que reposara 1 día antes de hacer la estandarización a la solución.

Solución stock de Pararrosanilina purificada (PRA): el colorante presenta una longitud de onda que no sobrepasa los 540 nm, con un porcentaje de purificación cercano al 100%.

Reactivo de Pararrosanilina: se tomó 80 mL de la solución stock PRA y 100 mL de ácido fosfórico [3M] y se aforó a un volumen de 1000 mL con agua destilada.

3.1.2 Equipos para el método de pararrosanilina (SO₂)

Balanza analítica con aproximación de 0,001 g mínimo.

Espectrofotómetro $\lambda=548$ nm.

Celda de paso óptico de 1cm.

Transferpipeta 100 a 1000 μ L.

Transferpipeta de 1 a 10 mL.

Cabina de extracción de vapores y gases.

Horno de secado.

Termohigrómetro: el desarrollo de color debe realizarse en un ambiente en un rango de temperatura de 20° a 30°C.

3.1.3 Reactivos para el método ácido fenoldisulfónico (NO_x)

Peróxido de hidrogeno al 3%: se adicionó 1 mL de Peróxido de hidrogeno al 30% en un balón aforado de 10 mL.

Solución Absorbente: para esta solución se adicionaron 1,4 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado en un balón de aforado de 500 mL lleno hasta la mitad con agua destilada. Luego de mezclar, se agregaron 3 mL de peróxido de hidrógeno al 3%.

Hidróxido de Sodio [1 N]. se disolvieron 40 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 500 mL de agua destilada, al dejar enfriar, se aforó a un volumen de 1000 mL de agua destilada.

Ácido Sulfúrico concentrado.

Solución de ácido Fenoldisulfónico: para prepararlo se pesaron 25 g de fenol puro en 150 mL de ácido sulfúrico concentrado calentándolo en un baño maría. Luego de dejar enfriar se le agregó 75 mL de ácido sulfúrico concentrado y se calentó durante dos (2) horas. Para preservar la solución se guardó en un recipiente ámbar.

Hidróxido de amonio concentrado.

Solución estándar de Nitrato de Potasio: se puso a secar el nitrato de potasio a 105 – 110°C por dos (2) horas. Luego se disolvió 2,198 g de KNO₃ con agua destilada y se aforó a 1000 mL.

Solución estándar de trabajo-Nitrato de Potasio: al tener los reactivos y las soluciones anteriores, se realizó esta solución para la curva de calibración que consta de diluir 10 mL de la solución estándar de nitrato de potasio en un balón aforado de 100 mL con agua destilada.

Solución diluida de trabajo Nitrato de Potasio: para esta se diluyeron 10 mL de la solución trabajo de nitrato de potasio en un balón aforado de 100 mL con agua destilada.

Solución Estandarizada de Sulfito: se disolvió 0,40 g de sulfito de sodio en 500mL de agua destilada recién hervida y enfriada.

3.1.4 Equipos para el método ácido fenoldisulfónico (NO_x)

Balanza analítica con aproximación de 0,001g mínimo.

Espectrofotómetro $\lambda=410\text{nm}$.

Transferpipeta, 100 a 1000 μL .

Cabina de extracción de vapores y gases.

Plancha de secado 6 puestos

Horno de secado.

3.2. Procedimiento

3.2.1. Método US-EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina

Para realizar el análisis de SO₂ en zonas industriales bajo los lineamientos de la norma US EPA CFR Titulo 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina se realizaron los siguientes procedimientos:

3.2.1.1. Fase 1: Estandarización de la solución stock tiosulfato de sodio [0,1N]. Se midió con una pipeta volumétrica 50mL de solución de yodato de potasio y se transfirió a un erlenmeyer de 250mL. Se agregaron 2g de yoduro de potasio y 10mL de HCl (1N). Permitiéndose el desarrollo de la reacción durante 5 minutos, que se notaba con el cambio de coloración amarillo a café. Luego, se tituló con la solución stock de tiosulfato de sodio a un color amarillo pálido. A esta solución se le adicionó 5mL de solución de almidón y se tituló hasta que el color azul desaparezca. Se repitió este proceso con un duplicado.

Para calcular la normalidad de la solución stock se utilizó la fórmula:

$$Ns = \frac{W}{M} \times 2,8 \quad (1)$$

Donde M es el volumen de tiosulfato gastado en la titulación en mL y W es el peso de yodato de potasio en g (en este caso los 1,5g exactos).

Tabla 3. Estandarización tiosulfato de sodio

Volumen Titulante [mL]		Concentración [N]
V1	41,10	0,1
V1.2	41,10	0,1
Concentración promedio [N]		0,1

3.2.1.2. Fase 2: Estandarización de la solución de sulfito. A partir de la solución stock de tiosulfato (0,1N), se preparó el titulante de trabajo (0,01N) que consistió en tomar 100 mL del stock y transferirla a un balón de 1000 mL aforando con agua destilada hervida y enfriada.

Se preparó un Erlenmeyer A con 50 mL de solución de yodo, 25 mL de agua destilada, y un Erlenmeyer B con 50 mL de solución de yodo y 25 mL de la solución estandarizada de sulfito. Se dejó 5 minutos para que se desarrollara la reacción luego se tituló el Erlenmeyer A con tiosulfato de trabajo (0,01N) hasta un color amarillo pálido a este se le adiciono 5 mL de solución de almidón y se tituló hasta que el color desapareciera y se repitió este proceso con el Erlenmeyer B más su duplicado.

De la solución de sulfito estandarizada se tomó 5 mL y se adicionó en un balón de 250 mL aforando con solución absorbente de TCM (0,04M) calculándose la concentración de dióxido de azufre en la solución de trabajo el cual debe encontrarse en un aproximado a 7.2µg SO₂/mL como lo indica el método US-EPA CFR Pararrosanilina. para utilizarse en la preparación de la curva de calibración. Para calcular la concentración de dióxido de azufre (tabla 4) en la solución de trabajo se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_{CTM/SO_2} (\mu g \text{ SO}_2/\text{mL}) = \frac{(A-B)(N_T)(3200)}{25} \times 0,02 \quad (2)$$

A: volumen promedio de tiosulfato gastado en el blanco (mL).

B: volumen promedio de tiosulfato gastado en la solución de sulfito de sodio (mL) o muestra.

N_T: normalidad del tiosulfato empleado ($\approx 0,01N$).

32000: peso miliequivalente del SO₂ expresado en μg .

25: alícuota de solución madre de sulfito empleada en el análisis.

0,02: factor de dilución.

Tabla 4. *Estandarización Sulfito*

Identificación	Volumen gastado: Tiosulfato de sodio	Concentración [$\mu g/mL$]
Blanco (A)	47,20	
B1	19,20	7,168
B1.2	19,20	7,168
Concentración promedio [$\mu gSO_2/mL$]		7,20

3.2.1.3. Fase 3: Preparación de la curva de calibración y controles de SO₂. La curva de calibración se preparó a partir de la solución de trabajo de Sulfito-TCM y de la diluida de trabajo Sulfito-TCM para esta solución se tomaron 10 mL de trabajo sulfito y se aforo a 100 mL con TCM. En la curva se prepararon 6 estándares: el blanco y los puntos 1, 2, 3, 4, 5 se tomaban alícuotas de trabajo o de la diluida y se completaba a 10 mL con TCM (tabla 5) en balones aforados de 25 mL.

Tabla 5. *Preparación de los estándares de SO₂*

#Estandar	Solución Sulfito-TCM	Volumen solución Sulfito (mL)	Volumen de TCM (mL)
0	Blanco	0,00	10,00
1	Diluida	1,00	9,00
2	Diluida	3,00	7,00
3	Diluida	5,00	5,00
4	Diluida	10,00	0,00
5	Trabajo	2,00	8,00
LCM	Diluida	1,00	9,00
BLF	Diluida	6,94	3,06
90%	Trabajo	1,60	8,40

Nota: el ensayo analítico se mantiene con las mismas condiciones de humedad y temperatura.

Luego a cada balón se le agregaba 1 mL de la solución de ácido sulfámico 0,6% dejando reposar por 5 minutos, seguido se agregaba 2 mL de formaldehído 0,2%, 5 mL de reactivo de pararrosanilina y 7 mL de agua destilada para completar el volumen de 25 mL. Seguido, se dejó reposar la solución por 30 minutos y finalmente se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 548 nm.

3.2.1.4. Fase 4: Preparación de las muestras de SO₂. En el caso de las muestras, éstas se encontraban recolectadas en una solución absorbente de Tetracloromercurato de Potasio permaneciendo en un volumen de 50 mL (el volumen se midió con una probeta con cada muestra). Para el análisis, se agregaba 10 mL de muestra en un recipiente de vidrio para muestra, se le adicionó 1 mL de ácido sulfámico dejándola reposar por 5 minutos, luego se agregó 2 mL de solución de formaldehído, 5 mL de pararrosanilina y 7 mL de agua destilada al instante se dejó reposar la muestra por 30 minutos. Por último, se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro a 548 nm.

Las muestras de SO₂ recolectadas en la Fortuna-Santander llegaron en 3 estaciones: es de resaltar que 1 estación contiene 18 muestras y su blanco, por lo tanto, se realizaron análisis a 54 muestras y 3 blancos y para asegurar la calidad del análisis se ejecutaron duplicados a 2 muestras, y los controles de calidad (tabla 5): un blanco de reactivos, un límite de cuantificación (LCM), el blanco fortificado (BLF) y el control alto (90%). Para calcular los resultados en microgramos por metro cúbico (µg/m³) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\mu gSO_2/m^3 = \frac{(A-A_0)(B_X)(10^3)}{V_{std}} \times \frac{V_b}{V_a} \quad (3)$$

Donde:

A= Absorbancia de la muestra

A_0 = Absorbancia del blanco de reactivos (0.101)

B_x = factor de calibración (inverso de la pendiente)

V_a = volumen alícuota (10 mL)

V_b = volumen total de muestra (mL)

V_{std} = volumen de aire estándar muestreado (288 litros estándar)

3.2.2. Método US-EPA CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico Ácido Fenoldisulfónico

Para realizar el análisis del NO_x en fuentes fijas según la US-EPA CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico Ácido Fenoldisulfónico se realizaron los siguientes procedimientos:

3.2.2.1. Fase 1: Preparación de los estándares y la curva de calibración. A partir de la solución de trabajo de nitrato de potasio se tomaron alícuotas de 2, 4, 6, 8 mL en balones aforados de 50 mL. Se le adicionó a cada uno 25 mL de solución absorbente, 10 mL de agua destilada, luego se ajustó pH entre 9 y 12 con hidróxido de sodio completando el aforo a 50 mL con agua destilada.

Seguido se tomaron 25 mL de cada balón aforado y se agregaron en crisoles de porcelana, se llevó a sequedad a 70°C posteriormente se les adicionó 2 mL de ácido Fenoldisulfónico a los residuos secos asegurándose que la solución entrara en contacto con todos los residuos y se trituraron con una varilla de polietileno. Seguido se agregó 1 mL de agua y 4 gotas de ácido sulfúrico dejando calentar el crisol por 3 minutos agitando en ocasiones.

Tras dejar enfriar se agregó 20 mL de agua destilada y seguido se añadió hidróxido de amonio concentrado (aproximadamente 7 mL) hasta obtener un pH de ± 10 que se determinaba con

papel indicador de pH (a este punto la solución toma una coloración amarillo oscuro y emite calor por el cambio de pH).

Finalmente, la solución se transfirió en un balón de 100 mL, realizando 3 lavados con agua destilada para agregarlo al balón y completar el aforo con agua. De esta forma se pasaron los estándares por el espectrofotómetro a 415 nm para leer la absorbancia.

3.2.2.2. Fase 2: Preparación de las muestras de NO_x. Las muestras de NO_x fueron tomadas en Sabana de Torres-Santander desde una fuente fija, las cuales consistía en 1 blanco y 4 muestras, este contaminante se encontraba recolectado en la solución absorbente.

En la preparación de las muestras, se transfirió el contenido en balones aforados de 50 mL enjuagando 2 veces el recipiente con 5 mL de agua destilada y aforando a 50 mL. Seguido se tomaron alícuotas de 25 mL llevándolas a los crisoles de porcelana para calentarlas a 70°C realizándose el mismo procedimiento analítico mencionado en la fase 1 (ítem 3.2.2.1.) con los estándares y se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro a 415 nm.

Para asegurar la calidad de los resultados se realizó un duplicado a la muestra 4, se pasó una muestra ciega y se realizaron los controles de calidad: LCM, BLF y 90%.

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultados del análisis de SO₂ en emisiones industriales

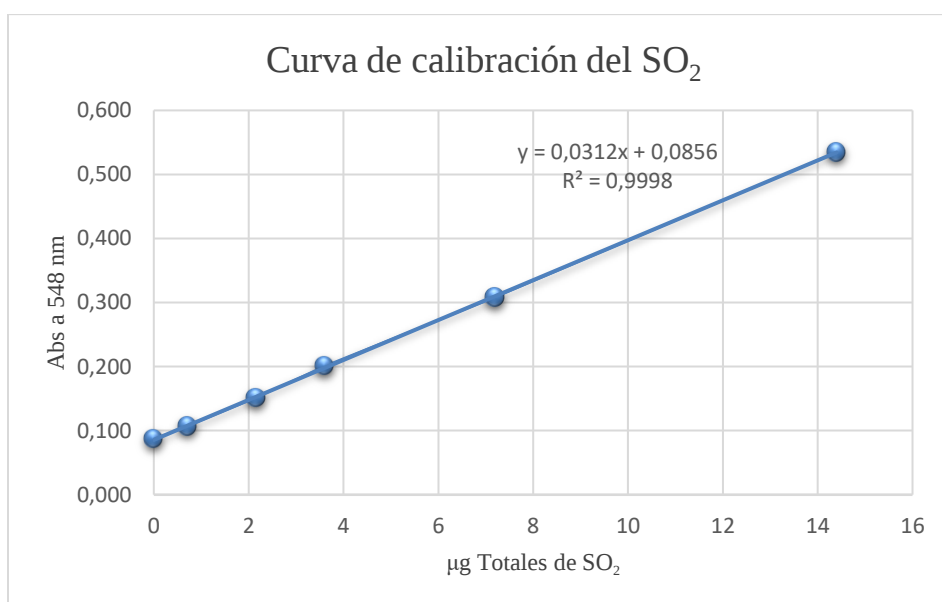
4.1.1. Parte 1: Resultados de la curva de calibración del SO₂

En la curva de calibración (figura 3) se obtuvo una linealidad de $R=0.9998$ por lo tanto los estándares se encontraban de acuerdo con lo establecido por el método descrito para analizar SO₂

en emisiones industriales según la US-EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina.

En la figura 3 se evidencia la ecuación de la reta que se utilizó para calcular los µg SO₂/muestra en la tabla 6 y 7, donde y equivale a la absorbancia de la muestra, mientras que, x son los µg SO₂/muestra.

Figura 3. Curva del calibración del SO₂



4.1.2. Parte 2: Resultados de los controles de calidad del SO₂

En el caso de los controles de calidad se observó que no se excedieran del 10% de error con su concentración teórica indicada en la metodología de la EPA CFR Titulo 40, parte 50, apéndice A-2, confirmándose con esta medición que el análisis de las muestras es confiable, obteniéndose a continuación los siguientes resultados cómo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. *Controles de calidad SO₂*

Tipo de control	Absorbancia	Concentración	Criterio	%Error
		µg SO ₂ /muestra	µg SO ₂ /muestra	
LCM	0,125	0,77	0,75	2,56
BLF	0,258	5,03	5,0	0,64
90%	0,483	12,24	12,0	2,03

4.1.3. Parte 3: Resultados las muestras de SO₂ en zonas industriales

Se pasaron las 57 muestras de aire de SO₂, objeto de estudio de esta investigación, las cuales fueron recolectadas en La Fortuna-Santander con un periodo de muestreo del 27 de marzo del 2023 hasta el 13 de abril del 2023 y llevadas al laboratorio para su respectivo análisis, de esta forma, conocer el nivel de contaminación al que se está expuesto en esta zona geográfica. A continuación, en la siguiente tabla se presentan los resultados de las muestras de aire:

Tabla 7. *Resultados de las muestras de SO₂*

Identificación muestra	Volumen total (mL)	Absorbancia	µg SO ₂ /muestra	µg SO ₂ /m ³
E1.M0	50	0,102	0,03	0,0005
E1.M1	50	0,105	0,13	0,0022
E1.M2	50	0,104	0,10	0,0016
E1.M3	50	0,102	0,03	0,0005
E1.M4	50	0,103	0,06	0,0011
E1.M5	50	0,108	0,22	0,0038
E1.M6	50	0,106	0,16	0,0027
E1.M7	50	0,108	0,22	0,0038
E1.M8	50	0,107	0,19	0,0033
E1.M9	50	0,108	0,22	0,0038
E1.M10	50	0,112	0,35	0,0060
E1.M11	51	0,103	0,06	0,0011
E1.M12	50	0,098	0,10	0,0016
E1.M13	50	0,099	0,06	0,0011
E1.M14	54	0,098	0,10	0,0018
E1.M15	54	0,101	0,00	0,0000
E1.M16	50	0,101	0,00	0,0000
E1.M17	54	0,103	0,06	0,0012

Identificación muestra	Volumen total (mL)	Absorbancia	µg SO ₂ /muestra	µg SO ₂ /m ³
E1.M18	55	0,105	0,13	0,0024
E2.M0	50	0,101	0,00	0,0000
E2.M1	50	0,099	0,06	0,0011
E2.M2	50	0,098	0,10	0,0016
E2.M3	50	0,099	0,06	0,0011
E2.M4	50	0,098	0,10	0,0016
E2.M5	50	0,099	0,06	0,0011
E2.M6	50	0,098	0,10	0,0016
E2.M7	50	0,105	0,13	0,0022
E2.M8	50	0,104	0,10	0,0016
E2.M9	50	0,104	0,10	0,0016
E2.M10	50	0,109	0,26	0,0043
E2.M11	50	0,106	0,16	0,0027
E2.M12	50	0,103	0,06	0,0011
E2.M13	50	0,102	0,03	0,0005
E2.M14	52	0,104	0,10	0,0017
E2.M15	56	0,105	0,13	0,0024
E2.M16	60	0,105	0,13	0,0026
E2.M17	56	0,106	0,16	0,0030
E2.M18	59	0,109	0,26	0,0051
E3.M0	50	0,106	0,16	0,0027
E3.M1	50	0,110	0,29	0,0049
E3.M2	50	0,106	0,16	0,0027
E3.M3	50	0,104	0,10	0,0016
E3.M4	50	0,104	0,10	0,0016
E3.M5	50	0,105	0,13	0,0022
E3.M6	50	0,106	0,16	0,0027
E3.M7	50	0,106	0,16	0,0027
E3.M8	50	0,105	0,13	0,0022
E3.M9	50	0,104	0,10	0,0016
E3.M10	50	0,107	0,19	0,0033
E3.M11	50	0,109	0,26	0,0043
E3.M12	50	0,113	0,38	0,0065
E3.M13	50	0,112	0,35	0,0060
E3.M14	53	0,103	0,06	0,0011
E3.M15	52	0,104	0,10	0,0017
E3.M16	58	0,103	0,06	0,0013
E3.M17	57	0,108	0,22	0,0043
E3.M18	60	0,107	0,19	0,0039

Para corroborar el análisis de las muestras se le realizó duplicado a dos muestras al azar con el fin de evaluar la precisión de los resultados a través de la absorbancia obtenida, demostrándose que el porcentaje de error fue por debajo del 10% como se nos muestra en la tabla 8, por lo tanto, el método en las muestras fue ejecutado correctamente.

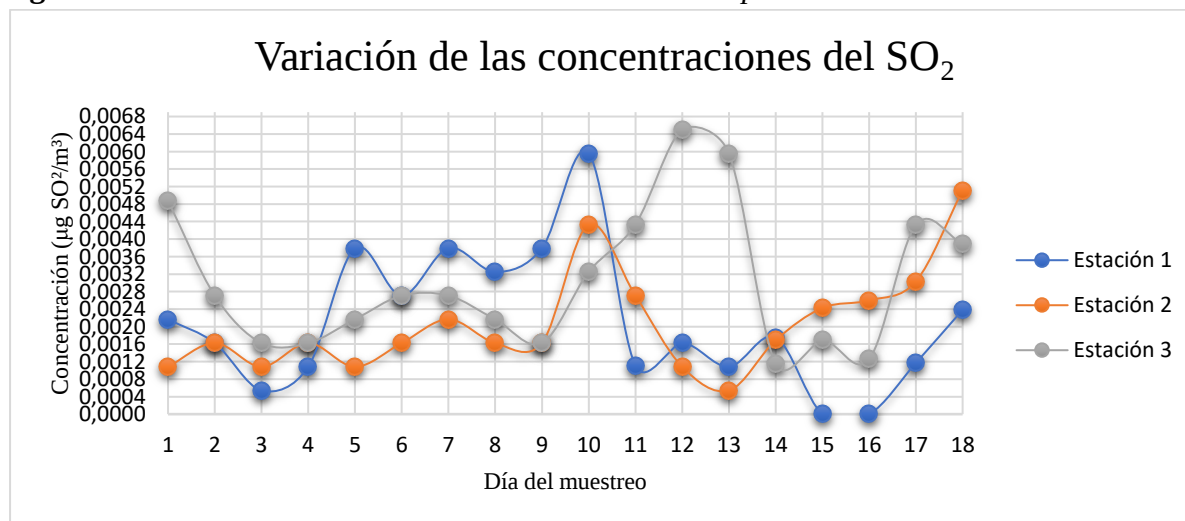
Tabla 8. Duplicado de las muestras de SO₂.

Código	Muestra (Absorbancia)	Duplicado (Absorbancia)	%Error
E1M1	0,105	0,102	2,86
E3M18	0,107	0,108	0,93

4.1.4. Parte 4: Análisis de las concentraciones en las muestras de SO₂ en aire

Con la evidencia de que el ensayo analítico, el tratamiento y análisis de las muestras fue realizado adecuadamente de acuerdo como lo indica la norma EPA, se identificó la variación de los contaminantes en el periodo de muestreo de 24h en tres estaciones diferentes en la Fortuna-Santander a través de una gráfica, estos datos se tomaron de los µg SO₂/m³ en la tabla 7.

Figura 4. Variación de las concentraciones del SO₂ en el periodo de muestreo



Como se nos muestra en la figura 4, las concentraciones de SO₂ de las tres estaciones ubicadas en el corregimiento no superaron el límite permisible de 50 ug/m³ indicado en la resolución 2254 del 2017, esto se debe a que el dióxido de azufre se encuentra en la atmosfera en bajas concentraciones además presenta una vida de menos de una semana por reaccionar con otros contaminantes y formar otros compuestos. Si comparamos los valores de SO₂ de las 3 estaciones, se nos muestran picos máximos en la E₁ es de 0.0060 µg SO₂/m³, E₂ de 0.0043 µg SO₂/m³ y E₃ 0.0065 µg SO₂/m³ estos picos se presentaron en el día de muestreo 10 y 12 en relación a la variabilidad de los parámetros meteorológicos y la actividad industrial, se puede decir que si hubo más actividad industrial en estos días, bajas temperaturas, baja humedad y menos vientos que dispersen las partículas en el aire, el SO₂ logró ascender hasta alcanzar un punto máximo como se nos muestra este comportamiento en la estación 1 del día 8 al 10 o en la estación 2 desde el día 9 al 12, sin embargo, su concentración volvería a descender a causa de los mismos parámetros meteorológicos y la baja influencia industrial que se presente en los siguientes días. Además, en la figura se puede observar que en cada estación los valores de las concentraciones presentan una diferencia significativa de un valor respecto a otro en cada día, por ejemplo, en la E₁ la muestra del día 4 presenta una concentración de 0.0011 µg SO₂/m³ y la muestra del día 5 una de 0.0038 µg SO₂/m³, diferencias que no suelen notarse en el momento que se realiza los análisis para determinar la absorbancia en el laboratorio (tabla 7), pero con la gráfica se puede verificar un panorama más amplio del comportamiento variable de este compuesto en la atmosfera. La Fortuna-Santander tiene un clima monzónico, en el año se presenta altas temperaturas esto tiende a disminuir las concentraciones al hacerlo reaccionar con otros compuestos en presencia de luz solar y humedad media de 77% considerándose alta, durante el día la temperatura media esta entre 21°C y 25°C o más, mientras que en la noche es de 13°C y 16°C en teoría deberían disminuir las concentraciones

de SO₂ de noche debido a que la actividad industrial esta menos activa, pero existe la posibilidad que sea el momento en el que este contaminante se encuentre más presente en la atmosfera porque no hay temperaturas altas que lo hagan reaccionar. Es una posibilidad, debido a que, el SO₂ depende de diferentes parámetros, por ejemplo, con la humedad su relación es inversamente proporcional debido a que el compuesto reacciona con el agua para formar ácido sulfúrico (y otras partículas sulfatadas), también depende de las actividades antropogénicas activas en la zona, los vientos porque tiende a dispersarlo en el aire, por lo tanto, al estar las 3 estaciones del muestreo en diferentes puntos de la Fortuna las concentraciones tienden a variar durante las 24h porque los parámetros no siempre se van a presentar en las mismas condiciones en cada punto de monitoreo.

Es importante resaltar que las actividades humanas indicadoras para realizar el análisis del contaminante atmosférico en dicha zona se deben a que el corregimiento es conocido por su actividad agrícola (como café, plátano, cacao, entre otras) y la ganadera, estas son las actividades que más influyen en la economía del sector, por lo que, puede haber pequeñas industrias que se dediquen a la transformación de estos productos agrícolas. Además, es de resaltar que se ubican vías a campos petroleros de ECOPETROL S.A quienes frecuentan rutinariamente estas vías para realizar explotación del recurso (Álvarez, 2017) y al tiempo influyen en la calidad del aire de la población.

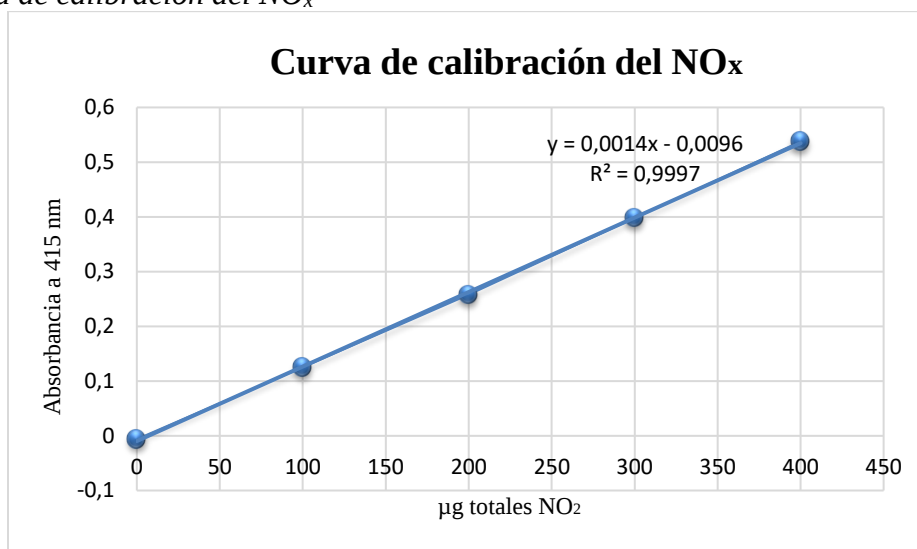
4.2. Resultados del análisis de NO_x.NO₂ en fuentes fijas

4.2.1. Parte 1: Resultados de la curva de calibración del NO_x

Inicialmente se observó la linealidad en la curva de calibración del NO_x siendo un R² de 0,9997 de acuerdo con lo indicado en la norma del método US-EPA CFR Título 40, Parte 60,

Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico Ácido Fenoldisulfónico. Además, la ecuación de la curva de calibración (figura 5) fue la que se utilizó para calcular los µg totales NO₂, donde y equivale a la absorbancia mientras que x los µg totales NO₂.

Figura 5. Curva de calibración del NO_x



4.2.2. Parte 2: Resultados de los controles de calidad del NO_x

Se realizaron los controles de calidad para NO_x, teniendo en cuenta que el porcentaje de error en los controles no excedieran del 10% indicado en el método de la US-EPA CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-4: Método 7, Colorimétrico Ácido Fenoldisulfónico como se nos muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Controles de calidad NO_x

Tipo de control	Absorbancia	Concentración (µg totales NO ₂)	Criterio (µg totales NO ₂)	%Error
LCM	0,025	23,3	25	6,7
BLF	0,316	242,2	250	3,1
90%	0,451	343,8	360	4,5

Estos análisis demuestran que el desarrollo del método fue aplicado correctamente y no se generó ningún tipo de interferencia en los resultados de las muestras de NO_x-NO₂ en fuentes fijas (tabla 10).

4.2.3. Parte 3: Resultados de las muestras de NO_x en fuentes fijas y la muestra ciega

El blanco de campo y las 4 muestras de NO_x fueron recolectadas de una fuente fija el 18 de abril de 2023 en Sabana de Torres-Santander, las muestras se tomaban cada 15 minutos hasta completar 1h de muestreo. Luego, fueron transportadas al laboratorio para su respectivo análisis, de esta forma se pudo determinar el nivel de contaminación al que se está expuesto en la zona. En la tabla también se pasó un duplicado de la muestra 4 que fue elegida al azar para corroborar la confiabilidad del proceso analítico.

Tabla 10. Muestras de NO_x

No. Muestra	Absorbancia	Concentración (µg totales NO ₂)
Blanco de Campo	0,004	15,04
Muestra 1	0,004	15,04
Muestra 2	0,150	234,69
Muestra 3	0,130	204,60
Muestra 4	0,004	15,04
D-Muestra 4	0,004	15,04

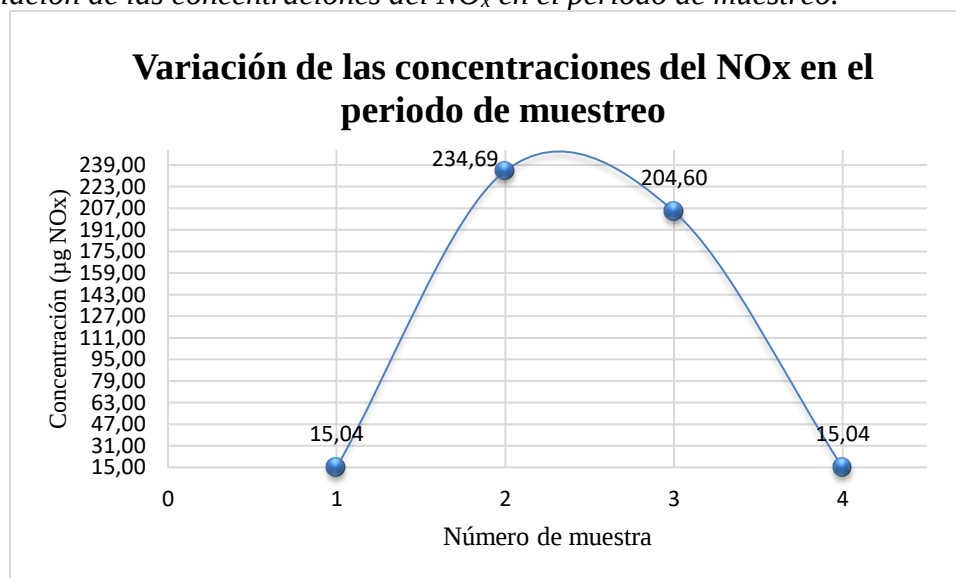
Adicional se leyó una muestra ciega con su duplicado (tabla 11) en el mismo análisis de las muestras de campo de NO_x en el laboratorio a modo de evaluar la capacidad del analista de laboratorio en su proceso analítico. La muestra ciega entregado por el laboratorio se le realizó su preparación y tratamiento, finalmente se leyó su absorbancia en el espectrofotómetro, calculándose al instante su porcentaje de error respecto a la concentración experimental con la teórica, la cual no se excedió del 10% de error.

Tabla 11. *Muestra ciega de NO_x*

Identificación	Absorbancia	Concentración experimental (µg totales NO ₂)	Concentración teórica (µg totales NO ₂)	%Error
MC	0,200	154,96	150	3,30
Duplicado MC	0,199	154,20	150	2,80

4.2.4. Parte 4: Análisis de las concentraciones de NO_x-NO₂ en fuentes fijas

Para tener un panorama del comportamiento de las concentraciones en las 4 muestras de NO_x tomadas cada 15 minutos se graficaron los µg totales NO₂ respecto al número de muestras (figura 6).

Figura 6. *Variación de las concentraciones del NO_x en el periodo de muestreo.*

En la figura 6 se observa que en la toma de los primeros 15 minutos, la muestra 1 de NO_x tenía una concentración de 15 µg totales NO₂ concentración baja que aún no excede del límite permisible (200 µg totales/m³ NO₂ en 1 hora) indicado en la resolución 2254 del 2017, por lo que, se esperaba que la siguiente muestra tuviera un valor de concentración cercana a la muestra 1, pero en este caso es todo lo contrario, cuando se toma la muestra 2 a los siguientes 15 minutos sobrepasa

el límite permisible con un valor máximo de 234,46 µg totales NO₂ el cual empieza a descender a partir de la muestra 3 hasta finalmente volver a la concentración inicial del muestreo en la muestra 4 completando el periodo de 1 hora para el análisis de NO_x-NO₂. Este comportamiento se debe a diversos factores como los fuertes vientos que dispersan las emisiones conduciendo a que se den bajas concentraciones mientras que los pocos vientos provocan estancamientos y acumulación de partículas. Otros factores como las altas temperaturas tienden a disminuir las concentraciones de NO_x durante el día porque favorece los procesos fotoquímicos en la atmosfera para que se generen otros compuestos dañinos mientras que a bajas temperaturas hay menos reacción por lo que las concentraciones aumentan. En Sabana de Torres, de día se presentan temperaturas promedio que oscilan entre 24°C y 27°C lo cual influye en el comportamiento del NO_x (en el periodo de monitoreo cada 15 minutos en el día), teniendo en cuenta que las actividades antropogénicas también son un factor clave en las concentraciones, como es la quema de combustible en fuentes estacionarias por las industrias y las emisiones de los automóviles por la gasolina, además es de resaltar que la economía de este municipio gira en base a los sectores industriales se puede comprender el aumento repentino de este compuesto en un corto tiempo. Además, que el municipio presente una humedad relativa de 82% nos permite deducir que en ese tiempo el compuesto reacciona con la humedad para formar otros compuestos en el aire como el ácido nítrico que ocasiona lluvia acida y genera que las concentraciones de NO_x en la atmosfera disminuyan repentinamente, ya que, la humedad y el compuesto tienen una relación inversamente proporcional.

Por lo tanto, aunque la figura 6 nos permita observar que al finalizar el tiempo de muestreo de 1h con la muestra 4 el NO_x vuelve a la concentración inicial y no sobrepasa el límite permisible por la norma, sigue siendo un contaminante que puede llegar a causar un riesgo alarmante en la

calidad del aire al alcanzar esos altos niveles de contaminación en tan solo un corto periodo de tiempo.

Lo que respecta Sabana de Torres, ubicado al noroeste del departamento de Santander, se reconoce porque su economía gira entorno a ciertas actividades humanas como sectores agropecuarios, maderero, explotación minera. Además, cuenta con 9 campos petroleros entre los más importantes son el de Salina y Provincia (Martínez, 2018), por lo tanto, presenta una dependencia en la actividad petrolera, siendo la producción y la distribución del petróleo y gas, debido a esto, es una zona geográfica donde la calidad del aire está muy influenciada por actividades industriales que tienden a emitir NO_x-NO₂ en sus procesos así que se vuelve fundamental realizar el análisis de este tipo de muestras en la zona.

4.3. Impactos de ambientales y en la salud por los contaminantes de SO₂ y NO_x-NO₂

El dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno generan impactos en la salud y en el medio ambiente, el SO₂ en altas concentraciones dificulta la respiración por lo que su impacto a corto plazo puede generar enfermedades, mientras que, a largo plazo resulta peligroso, este compuesto en el ambiente limita el crecimiento de plantas y forma lluvia acida que afecta las características del suelo principalmente. En el caso del NO_x-NO₂ genera enfermedades pulmonares y cardiacas, en cambio, en el ambiente crea smog, contribuye con la formación de lluvia acida y daña la vegetación por formar ozono en presencia de luz solar. Incluso en bajas concentraciones estos contaminantes deben estar en constante monitoreo, ya que, aunque se puedan formar de manera natural, en la actualidad se ha visto las actividades humanas como un primordial influyente en el aumentar sus concentraciones en la atmosfera, Las gráficas de estos contaminantes permitió determinar el comportamiento de ambos compuestos en un determinado periodo de tiempo y

evaluar la magnitud de una concentración sea en un muestreo al siguiente día o a los 15 minutos , si bien es el caso que ambos compuestos no presentan todavía un peligro para la calidad del aire siguen siendo un riesgo en la sociedad y el ambiente debido a las afectaciones negativas que pueden causar incluso en bajas concentraciones. Por lo tanto, se deben evaluar soluciones y alternativas ambientales para controlar estas variaciones y que no escalen al límite como se evidenció en el NO_x en fuente fijas que tan solo en un periodo de 15 minutos sobrepasó el límite permisible antes de volver a descender. Si este comportamiento llegará a ser exponencial por causa de las actividades humanas es importante establecer alternativas prácticas y ambientales que permitan un control de ambos compuestos, de esa forma, disminuir la variabilidad que se presenta en las concentraciones para conseguir un comportamiento regular con el tiempo, esto independiente de los efectos generados por los parámetros meteorológicos ya que estos no pueden controlarse. Se presenta algunas de estas posibles soluciones:

Cambiar los combustibles sólidos como el carbón que tiene gran cantidad de azufre a combustibles con bajo contenido de azufre como es el gas natural para limitar la utilización de estos combustibles.

Realizar informes gráficos mensuales de estos contaminantes para evaluar el comportamiento y la variabilidad de las concentraciones con el fin de establecer comparativas que determinen si ha evidenciado un incremento o una disminución entre los valores calculados o mantienen un comportamiento constante con valores cercanos entre sí. Con el fin de mantener un mejor control y monitoreo de estos compuestos, al tiempo que nos permitirá identificar si las actividades humanas han causado un aumento significativo y riesgoso en la zona geográfica. Esta solución es aplicable a gran escala para diferentes zonas del país por parte de laboratorios que se

encargan del análisis de los compuestos atmosféricos y por las empresas industriales que generan emisiones de estos contaminantes afectando la calidad del aire.

Se les puede solicitar a las industrias un plan de reducción de contaminantes emitidos con soluciones internas que no generen un costo excesivo para las empresas, es decir, que estos planes se encuentren dentro de su escala monetaria, ya sea disminuyendo el uso excesivo de energía a solamente lo necesario para los procesos o implementando sistemas de energía renovables en algunas maquinarias.

Las industrias emisoras de estos contaminantes pueden realizar encuestas virtuales en la población ubicada en la zona geográfica donde operan sus actividades, de esta manera, tener un índice estadístico y un seguimiento sobre los síntomas y las enfermedades que se presenten, sea de manera continua o poco frecuente a causa de los agentes contaminantes en el aire, así evaluar el impacto que provocan los procesos industriales e identificar como se encuentra la salud de su población respecto a esos contaminantes. De esta forma podrán crear y mantener un plan estratégico de prevención que permita la mejora continua tanto para la empresa como para los que lo rodean y puedan verse afectados.

5. Conclusiones

Durante el análisis, los valores obtenidos para SO₂ y NO_x-NO₂ presentaron bajas concentraciones respecto a los límites permisibles indicados en la resolución 2254 del 2017. Sin embargo, pese a esto, se pudo verificar que las concentraciones de NO_x en Sabana de Torres tiende a sobrepasar el umbral permitido en el transcurso del tiempo hasta volver a descender, posiblemente en ese periodo de tiempo el contaminante emitido haya reaccionado con otros compuestos en la atmósfera que son riesgosos para la salud como es el caso del ozono y ácido

nítrico que contribuye a la formación de lluvia ácida. Por eso se deben tener en cuenta la implementación de sistemas automáticos de vigilancia y planes de reducción por parte de las empresas para esté y otros municipios en el departamento en el que se observe gran influencia de los sectores industriales.

En la determinación del SO₂ se obtiene en la curva de calibración con un R² de 0,9998 mientras que NO_x un R² de 0,9997 demostrando que este método es reproducible y tiene una tendencia definida como lo indica en la norma. Respecto al análisis se confirmó el correcto funcionamiento de estos métodos analíticos en el laboratorio para cuantificar estos compuestos. Además, los controles de calidad, los cuales presentaron errores menores al 10% corroboran la precisión del analista y previnieron cualquier tipo de interferencia que pueda afectar el ensayo analítico y los resultados obtenidos.

En el caso del SO₂, se comprobó que el compuesto no representa un riesgo porque sus concentraciones son bajas posiblemente por la poca actividad industrial que hay en La Fortuna y los parámetros meteorológicos que pueden dispersarlo o hacerlo reaccionar por eso tiene poca presencia en el aire, aun así, es necesario realizar monitoreos y ensayos analíticos para evaluar el comportamiento mensual en este tipo de zonas menos desarrolladas por la industria para verificar la calidad del aire dado que La Fortuna también puede verse afectado por municipios que tengan más actividad industrial y se encuentren cerca de esté.

Con el NO_x se identificó un comportamiento diferente, el contaminante al finalizar el periodo de muestreo no sobrepasa el límite permisible indicado en la normativa, sin embargo, cada 15 minutos las concentraciones eran muy variables llegando a incrementar y sobrepasar el límite permisible hasta descender a una muy baja concentración, este factor es la clave para evidenciar que en ese corto periodo de tiempo el compuesto pudo reaccionar con la atmosfera para generar

contaminantes secundarios y/o ser dispersado por el viento. Por lo tanto, se vuelve una preocupación y un riesgo para la calidad del aire, por lo que, se deben realizar constantes monitoreos y estudios en zonas con gran influencia industrial como es el caso de Sabana de Torres además implementar soluciones para disminuir estas concentraciones que ponen en riesgo la salud humana y el medio ambiente.

6. Recomendaciones

Como recomendaciones, se debe tener especial cuidado en la preparación de las soluciones de ambos métodos. En el SO₂ principalmente la solución stock de tiosulfato de sodio, debido a que como lo indica el método se debe utilizar agua destilada recién hervida y enfriada, si el agua destilada no se hierve al instante y se deja enfriar se puede generar interferencias en la solución que se reflejaran en la estandarización. Mientras que, en el método de NO_x al preparar la solución del ácido Fenoldisulfónico se debe utilizar en un frasco ámbar debido a que esta solución es inestable a la temperatura ambiente.

Por último, para los análisis de estos compuestos se deben tener en cuenta lavarse adecuadamente las celdas o cubetas que se utilizan en el espectrofotómetro primero una vez con ácido nítrico diluido (1:1) luego 3 veces con agua destilada, de esta forma se asegura que la celda no esté contaminada y no se vaya a ocasionar ninguna interferencia en la lectura del equipo.

Referencias

- Alcaldía de Barrancabermeja (2016). Barrancabermeja. Competitics. 1-97.
file:///C:/Users/asus/Downloads/revista_barrancabermeja_en_cifras_2016_0.pdf
- Álvarez, L. (2018). Proyecto: Fortalecimiento de la cobertura mediante el arrendamiento de cinco aulas móviles tipo contenedor para garantizar la prestación del servicio educativo en el colegio agropecuario La Fortuna del municipio de Barrancabermeja. Departamento Nacional de Planeación. file:///C:/Users/asus/Downloads/20160680810011bpim-2017680810153bpin-primera_actualizacion_2018%20(3).pdf
- Appendix A-2 to Part 50—Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) <https://www.ecfr.gov/current/title-40/part-50/appendix-Appendix A-2 to Part 50>
- Appendix A-4 to Part 60, Title 40 —Reference Method 7, Colorimetric Phenoldisulfonic Acid <https://www.ecfr.gov/current/title-40/part-60/appendix-Appendix A-4 to Part 60>
- Blakemore, E. (2022). La Gran Niebla de Londres: una semana de ceguera y toxicidad. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/historia/la-gran-niebla-de-londres-una-semana-de-ceguera-y-toxicidad>
- Bohórquez, L. (2022). “*El ángel de la muerte*”: la niebla tóxica que arrasó a un pueblo. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/mundo/eeuu-y-canada/donora-la-historia-de-la-niebla-toxica-que-arraso-a-un-pueblo-en-1948-727824>
- Cabarcas, Y. (2021). Informe Técnico de estudio de calidad de aire por partículas menores a 10 y 2.5 micras, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. SERAMBIENTE. Cundinamarca. <https://www.enel.com.co/content/dam/enel->

co/espac3%B1ol/0-subestaci%C3%B3n/subestaci%C3%B3n-occidente/informe-
tecnico-de-estudio-de-calidad-del-aire.pdf

Carvajal, D., y Morales, A. (2010). Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO_x y NO_x en muestras de aire [Universidad Tecnológica de Pereira].
<https://core.ac.uk/download/pdf/71396134.pdf>

Colombia (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 48 p.

Contaminación Atmosférica- IDEAM. (s/f). Gobernador.co. Recuperado el 16 de noviembre de 2023. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>

Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, C. (2021, septiembre 14). La CDMB Avanza En La Instalación De La Red De Monitoreo De Olores Ofensivos Y Sistema De Vigilancia De Calidad Del Aire. CDMB.
<http://www.cdmb.gov.co/prensa/noticias/la-cdmb-avanza-en-la-instalacion-de-la-red-de-monitoreo-de-olores-ofensivos-y-sistema-de-vigilancia-de-calidad-del-aire>

Garcés, L., y Hernández, M. (2019). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. Redalyc, 7. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69510211.pdf>

Gutiérrez, A. (2021). Monitoreo de SO₂, NO₂ y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería. Universidad de Córdoba.
[file:///C:/Users/asus/Downloads/GutierrezOchoaAldair%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/asus/Downloads/GutierrezOchoaAldair%20(3).pdf)

Hernández, Y. (2014). Análisis de la calidad del aire en el municipio de Barrancabermeja. Universidad Pontificia Bolivariana Seleccional Bucaramanga.

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/10276/digital_27629.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IDEAM. (2011). Concentración promedio anual de dióxido de azufre en el aire. Bogotá D.C.

IDEAM. (2018). Resolución N° 1742 de 2018. Bogotá D.C. 1-10.

IDEAM, V-01(2020). Instructivo de aseguramiento de calidad analítica. 1-40.

IDEAM. (2020). Instructivo de confirmación o validación de métodos analíticos.

[http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-](http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I038+INSTRUCTIVO+DE+CONFIRMACI%C3%93N+O+VALIDACI%C3%93N+DE+M%C3%89TODOS+ANAL%C3%8DTICOS+v3.pdf/cd82e785-16f2-4ffa-b965-4614a9808f38?version=1.0#:~:text=Blanco%20Fortificado%20de%20Laboratorio%20(LFB,en%20una%20matriz%20en%20blanco.)

[I038+INSTRUCTIVO+DE+CONFIRMACI%C3%93N+O+VALIDACI%C3%93N+DE+M%C3%89TODOS+ANAL%C3%8DTICOS+v3.pdf/cd82e785-16f2-4ffa-b965-](http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I038+INSTRUCTIVO+DE+CONFIRMACI%C3%93N+O+VALIDACI%C3%93N+DE+M%C3%89TODOS+ANAL%C3%8DTICOS+v3.pdf/cd82e785-16f2-4ffa-b965-4614a9808f38?version=1.0#:~:text=Blanco%20Fortificado%20de%20Laboratorio%20(LFB,en%20una%20matriz%20en%20blanco.)

[4614a9808f38?version=1.0#:~:text=Blanco%20Fortificado%20de%20Laboratorio%20\(LFB,en%20una%20matriz%20en%20blanco.](http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I038+INSTRUCTIVO+DE+CONFIRMACI%C3%93N+O+VALIDACI%C3%93N+DE+M%C3%89TODOS+ANAL%C3%8DTICOS+v3.pdf/cd82e785-16f2-4ffa-b965-4614a9808f38?version=1.0#:~:text=Blanco%20Fortificado%20de%20Laboratorio%20(LFB,en%20una%20matriz%20en%20blanco.)

Instituto de Hidrología, M. y. E. A. Contaminación atmosférica. IDEAM. Recuperado el 24 de febrero de 2024, de [http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-](http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20es%20la,encuentran%20expuestas%20a%20dicho%20ambiente.)

[atmosferica#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20es%20la,encuentran%20expuestas%20a%20dicho%20ambiente.](http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20es%20la,encuentran%20expuestas%20a%20dicho%20ambiente.)

INTECO. (2017). INTE/ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. INTECO. 1-35. Segunda edición.

Lifeder. (2022). Estandarización de soluciones. <https://www.lifeder.com/estandarizacion-de-soluciones/>

Martínez, A. (2018). Estudio sobre el impacto de la actividad petrolera en las regiones productoras de Colombia. (Caracterización departamental de Santander). Fedesarrollo. 144.

https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3669/CDF_No_66_Septiembre_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Roser, M. (2021) - "Data review: how many people die from air pollution?" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/data-review-air-pollution-deaths'

Meteobox. Tiempo La Fortuna, Santander. Recuperado en 2023 de <https://meteobox.es/colombia/la-fortuna-16/eltiempo-semana>

Minambiente. La contaminación atmosférica en Colombia. Colombia potencia de la vida. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Recuperado 2023 de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>

Minambiente. (2019). Estrategia Nacional de Calidad del Aire. República de Colombia. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/ESTRATEGIA_NACIONAL_DE_CALIDAD_DEL_AIRE_1.pdf

Ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. (2010). Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Versión 2.0. República de Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527666/Protocolo+fuentes+fijas.pdf/65780586-e70d-434a-9da7-264d3649b2ba>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (2017). *Resolución No. 2254 de 2017*. Bogotá. D.C. 1-11.

- Ministerio de Ambiente. (2022). Resolución 1518 Exenta: Anteproyecto de la revisión de la norma primaria de calidad de aire para dióxido de Nitrógeno (NO₂) y lo somete a consulta pública. Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1186597>
- Minsalud. (2021). Minsalud comprometido con la calidad del aire. Ministerio de Salud y Protección Social. República de Colombia <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire-.aspx>
- Núñez A., Gómez L., Bastidas, K, y Carreño, G. (2019). Organización y Fortalecimiento de las familias del Corregimiento de la Fortuna – Barrancabermeja (Santander) afectadas por una situación de emergencia ambiental [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/aea23dce-468f-48ef-96c2-96e4898c0381/content>
- Pérez, A. (2021). ¿Qué es un control de calidad de laboratorio? Campus Training. <https://www.campustraining.es/cursos/quimica/laboratorio-analisis-control-calidad/que-es/>
- Pérez, F. (2017). Cartilla de geografía de Sabana de Torres [Map]. Proyecto educación ambiental, convenio DHS 125-08.
- Rocío, S. (2018). Formulación y supervisión de proyectos de la secretaría de planeación de Sabana de Torres por medio del programa Estado Joven [Universidad Pontificia Bolivariana]. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5498/digital_37334.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Risctox. (2010). *Emisiones ¿qué son?* Base de datos. Recuperado en 2024 de <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=620>

Seinfeld, J., y Pandis, S. (1963). Atmospheric chemistry and physics from Air pollution to

climate change. Obtenido de

https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=n_RmCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&ots=gSF6DJnhbO&sig=ofFycgM7Kcpt2nVMXiR1MOysyJ8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

UNODC. (2012). *Glosario de términos sobre garantía de calidad y buenas prácticas de laboratorio*. Naciones Unidas. Nueva York.

https://www.unodc.org/documents/scientific/Glossary_ST_NAR_26_S.pdf

Weather Spark. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Sabana de Torres. Recuperado en

2023 de <https://es.weatherspark.com/y/24388/Clima-promedio-en-Sabana-de-Torres-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>