

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Determinación de la concentración de dióxido de azufre en el área urbana
de Gómez Palacio.**

**POR
PRISCILA MORALES FLORES**

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL (LA) C. **PRISCILA MORALES FLORES**, QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:



DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:

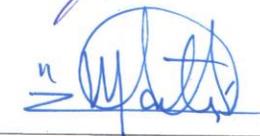


M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES

VOCAL:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Determinación de la concentración de dióxido de azufre en el área urbana de Gómez Palacio.

POR:

PRISCILA MORALES FLORES

TESIS:

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL:

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:

DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:

M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES

ASESOR:

DR. MARIO GARCÍA CARRILO

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.



AGRADECIMIENTOS

A DIOS, primeramente. Por darme la oportunidad de vivir, la fuerza suficiente para ir alcanzando éxitos en esta vida, por la bondad de disfrutar de paz conmigo mismo y con los que me rodean. Por darme el conocimiento de poder hacer las cosas y terminar este trabajo porque sin él no podemos hacer nada.

Al ING. Joel Limones Avitia

Por ayudarme ya que gracias a su asesoría logramos terminar el trabajo de tesis y por apoyarme durante los 4 años en la institución.

A mis maestros

Por sus conocimientos que compartieron conmigo, por su tiempo y haberme tenido paciencia para explicar las cosas.

A mis amigos

Gabriela, Nereida, Jesús, Ricardo y Brenda, solo decirles que gracias por su apoyo y por estar conmigo cuando los necesite.

A mi Alma Terra Mater

Con todo respeto, cariño y orgullo, porque en ella encontré las bases, el conocimiento necesario para lograr enfrentar los obstáculos y retos hacia la vida porque fue como mi segundo hogar aquí donde me forme como profesionalista.

DEDICATORIAS

En primer lugar, a “Dios” con toda la fe, por darme la oportunidad de vivir, por ser el motor que me mueve día con día y por permitirme terminar mis estudios con paciencia y capacidad y orientarme en el camino de la sabiduría y el conocimiento para lograr con uno de mis más grandes objetivos que me propuse en la vida.

A mis padres, Miguel Ángel Morales Cruz y Rebeca Flores Hernández con todo el cariño, amor y respeto que los amo con todo mi corazón por darme la oportunidad de estudiar, porque siempre confiaron en mí, en mí esfuerzo, por sus consejos quienes con tanto esfuerzo me brindaron su apoyo y bendiciones en los momentos más difíciles de mi vida y hoy gracias por el apoyo en la culminación de una etapa más en mi vida. Que Dios los guarde por siempre.

A mis hermanos, Yesenia Morales Flores y Francisco Miguel Morales Flores por su gran apoyo incondicional, por sus palabras de aliento para seguir adelante y lograr mis metas.

A mis queridos primos, primas y sobrinos, para que les sea de estimulación y sigan superándose para lograr sus metas.

RESUMEN

El dióxido de azufre SO_2 , está recibiendo gran interés debido a su importante papel en la química de las atmósferas de los planetas, especialmente como contaminante atmosférico en la Tierra, y de su amplio uso como precursor del ácido sulfúrico en la industria, un aditivo antimicrobiano, un antioxidante.

A pesar de los sofisticados métodos teóricos aplicados, la exactitud de los niveles de energía de vibración-rotación previstos para el estado electrónico del SO_2 no es aún satisfactoria, por ello el objetivo fue determinar el impacto ambiental en el aire por el aumento de la emisión de dióxido de azufre por las actividades industriales. Se utilizó un medidor de azufre atmosférico, marca ThermoFisher SCIENTIFIC modelo 43i SO_2 Analyzer. Para la determinación del aumento del contaminante denominado dióxido de azufre, esto se llevó a cabo, mediante la consulta del registro de los datos de contaminación atmosférica, capturados por la caseta de monitoreo ubicada en la colonia el Campestre de la Cd. De Gómez Palacio.

Palabras clave: Aire, Contaminación, Concentración, Emisiones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OJETIVO ESPECIFICO	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Historia de la contaminación	4
2.2 Que es el dióxido de azufre	8
2.2.1 Propiedades	8
2.2.2 Características	9
2.2.3 Producción de dióxido de azufre	10
2.2.4 Generación de dióxido de azufre	11
2.2.5 Concentración del SO₂	11
2.3 Ciclo del azufre	13
2.4 Principales Fuentes de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera	14
2.5 Contaminación atmosférica	17
2.5.1 Daños a la salud humana y medio ambiente por la contaminación de SO₂	18
2.6 Efectos perjudiciales del SO₂	21
2.6.1 Efectos del SO₂ en humanos	21
2.6.2 Efectos sobre materiales de construcción	21
2.6.3 Efecto sobre los metales	22
2.7 Óxidos de azufre y otros compuestos de azufre	22
2.7.1 Otras fuentes de azufre existentes en el país	23

2.8 Descripción de los contaminantes atmosféricos más importantes ..	23
2.8.1 Dióxido de carbono (CO₂)	24
2.8.2 Monóxido de carbono (CO).....	24
2.8.3 Dióxido de azufre (SO₂)	24
2.8.4 Trióxido de azufre (SO₃)	25
2.9 Toxicidad de corto plazo al SO₂	25
2.10 Métodos de eliminación de dióxido de azufre	26
2.10.1 Eliminación de dióxido de azufre con óxido de calcio	26
2.10.2 Eliminación de dióxido de azufre con depuradores.....	26
2.11 Tipos de contaminantes de aire de origen industrial	27
2.11.1 Reductora.....	27
2.11.2 Fotoquímica	28
2.11.3 De fuente puntual.....	28
2.12 Calidad del aire	29
2.13 Impacto ambiental.....	31
2.14 Marco Normativo	32
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1 Localización de la caseta	36
4.2 Toma de lecturas	36
4.3 Diseño experimental.....	37
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. LITERATURA CITADA	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos del día 6 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.	39
.Tabla 2. Análisis de las variables estadísticas del día 6 de abril del 2016.	39
Tabla 3. Datos del día 13 de abril, del año 2016, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.....	40
Tabla 4. Análisis de variables del día 13 de abril del año 2016.....	40
Tabla 5. Datos del día 20 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.	42
Tabla 6. Análisis de variables del día 20 de abril del año 2016.....	42
Tabla 7. Datos del día 25 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.	43
Tabla 8. Análisis de variables del día 25 de abril del año 2016.....	43
Tabla 9. Datos del día 6 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.	45
Tabla 10. Análisis de variables del día 6 de abril del año 2017.....	45
Tabla 11. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2017.	46
Tabla 12. Análisis de variables del día 13 de abril del año 2017	47
Tabla 13. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2017.	48
Tabla 14. Análisis de variables del día 20 de abril del año 2017.	48
Tabla 15. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2017.	49
Tabla 16. Análisis de variables del día 25 de abril del año 2017.	49
Tabla 17. Tabla comparativa de las cuatro muestras medidos de la media para obtener la diferencia entre el año 2016 y 2017.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen de la contaminación atmosférica por SO ₂ en Madrid Moreno-Jiménez y Cañada-Torrecilla (2007).	7
Figura 2. Tipos de contaminación del aire según sus características químicas y fuentes Yassi et al. (2002).	29
Figura 3. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta el Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 6 del mes de abril del año 2016.	39
Figura 4. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2016.	41
Figura 5. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2016.	42
Figura 6. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2016.	44
Figura 7. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 6 del mes de abril del año 2017.	45
Figura 8. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2017.	47
Figura 9. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia el Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2017.	48
Figura 10. Concentración de SO ₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2017.	50

I. INTRODUCCIÓN

El dióxido de azufre (SO_2) es uno de los contaminantes del aire que más se emiten en Estados Unidos. Se estima que la cantidad emitida en 1997 ha sido de 30.1 millones de toneladas. El azufre es un componente de todos los petróleos y carbones naturales, con una composición que varía de 0.1 a más del 5 por ciento. Por tanto, la emisión total de SO_2 varía considerablemente con la naturaleza u origen de los combustibles fósiles (Wark y Warner, 1994).

La contaminación industrial fue identificada por primera vez como un problema obvio y severo en los comienzos de 1800. Llegó a ser claro que la producción en una escala industrial, usando el adelanto de la tecnología de su tiempo, daba como resultado la contaminación en una proporción nunca antes vista. Esta contaminación era en su mayor parte el resultado de los requerimientos de energía de una tecnología con base en el hierro y el acero, que condujo a la contaminación más generalizada del aire, así como también a elevadas concentraciones de contaminantes en las localidades cercanas al sitio de ubicación de las fábricas (Yassi *et al.*, 2002).

La revolución industrial marcó un dramático y decisivo punto de cambio entre la actividad económica y el ambiente. Los requerimientos de energía de una tecnología basada en el hierro y el acero, condujeron a la contaminación del aire más generalizada, así como a concentraciones locales de contaminantes cerca del sitio de las fábricas (Romero-Placeres *et al.*, 2006).

El dióxido de azufre, SO_2 , está recibiendo gran interés debido a su importante papel en la química de las atmósferas de los planetas, especialmente como contaminante atmosférico en la Tierra, y de su amplio uso (como precursor del ácido sulfúrico en la industria, un aditivo antimicrobiano; antioxidante). A pesar de los sofisticados métodos teóricos aplicados, la exactitud de los niveles de

energía de vibración-rotación previstos para el estado electrónico del SO₂ no es aún satisfactoria (Jacek, 2017).

En muchos países la determinación de los contaminantes en el aire, agua, alimentos, y a veces en el suelo, ha llegado a ser una rutina. La mayoría de las mediciones se han hecho debido a los efectos sobre la salud, pero algunas se relacionan con el uso agrícola o industrial del aire, agua o suelo. Los ejemplos de determinaciones más comunes son el dióxido de azufre (SO₂) y las partículas suspendidas totales (PST) en el aire, que indican el alcance de la contaminación por el uso de carbón o el combustible de motores diésel usados en industrias específicas (por ejemplo fábricas de cemento) (Yassi *et al.*, 2002).

La innovación ampliamente reconocida del Título IV de las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990 (CAAA) es el comercio de permisos de dióxido de azufre (SO₂), diseñado para alentar a la industria eléctrica a minimizar el costo de reducir las emisiones. El título IV fija un límite anual sobre las emisiones medias de SO₂ agregadas por los generadores de electricidad. El límite caerá en aproximadamente la mitad de las emisiones en 1980. Las empresas rinden una concesión de emisión por cada tonelada de dióxido de azufre emitida (Burtraw y Mansur, 2017).

El aumento de los niveles de contaminación debido a la rápida industrialización y la urbanización son ahora causas de gran preocupación en los países industrializados. La contaminación del aire amenaza la salud humana y la ganancia en el crecimiento económico de cualquier país, por lo que la planificación de estrategias de control de la contaminación atmosférica es esencial para minimizar los efectos nocivos de las emisiones. Para delinear los planes apropiados de gestión de la calidad del aire, la cuantificación de las emisiones de diferentes fuentes de contaminación atmosférica y su impacto en la calidad del aire ambiente se hace esencial (Mahapatra y Toolseeram, 2011).

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el aumento de la concentración de dióxido de azufre generados en el mes de abril durante el periodo 2016 y 2017

2.2 OJETIVO ESPECIFICO

Determinar el impacto ambiental en el aire por el aumento de la emisión de dióxido de azufre por las actividades industriales.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Historia de la contaminación

A escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de partículas y gases potencialmente nocivos que afectan a la salud humana y el ambiente, y que a largo plazo dañan los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta. Los efectos ambientales en el aire son graves y se han hecho importantes esfuerzos por medir las concentraciones de Dióxido de Azufre (SO₂) y Partículas Menores a 10 micrómetros (PM₁₀), principales contaminantes en la ciudad (Barrón-Adame, 2010).

A nivel nacional, la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial. Las emisiones anuales de contaminantes en el país son superiores a 16 millones de toneladas, de las cuales el 65 % es de origen vehicular. En la Ciudad de México se genera 23.6 % de dichas emisiones, en Guadalajara el 3.5 %, y en Monterrey el 3 %. Los otros centros industriales del país generan el 70 % restante. La atmósfera es determinante para la aparición de la vida en la Tierra. Las continuas agresiones que padece se manifiestan de distintas maneras, y su degradación puede afectar al resto de los medios. La atmósfera es el recurso natural sobre el cual los problemas ambientales se hacen más evidentes (Salazar-Peralta *et al.*, 2016).

El aumento de los niveles de contaminación debido a la rápida industrialización y la urbanización son ahora causas de gran preocupación en los países industrializados. La contaminación del aire amenaza la salud humana y la ganancia en el crecimiento económico de cualquier país, por lo que la planificación de estrategias de control de la contaminación atmosférica es esencial para minimizar los efectos nocivos de las emisiones. Para delinear los planes apropiados de gestión de la calidad del aire, la cuantificación de las emisiones de diferentes fuentes de contaminación atmosférica y su impacto en

la calidad del aire ambiente se hace esencial. Sin ninguna dotación de recursos naturales, la isla de Mauricio depende de los combustibles fósiles importados para sus necesidades energéticas. Debido a esta dependencia de los combustibles fósiles y debido a su estructura económica, las emisiones de contaminantes procedentes de la combustión en los sectores de la industria, el transporte y la generación de energía aumentarán inevitablemente a medida que la economía crezca en el futuro (Mahapatra y Toolseeram, 2011).

Aunque se puede originar contaminación atmosférica por escapes o arrastres de gases u otro material volátil, almacenado o utilizado de diversas formas, la principal fuente de contaminación son los procesos que implican combustión, al producirse la oxidación de los distintos elementos que componen los combustibles, las materias primas y el aire (Aránguez *et al.*, 1999).

La contaminación atmosférica (CA) es un problema de deterioro ambiental que el ser humano padece actualmente y se enfrenta ante la disyuntiva de cómo detenerlo. La explotación excesiva de los recursos naturales, los cambios de uso de suelo, las concentraciones urbano-industriales y la gran cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, dañan el medio ambiente en un proceso que parece ser irreversible (García-Mario *et al.*, 2013). La gestión de la calidad del aire requiere información de diversos tipos, destacando la que se refiere a la identificación de los principales generadores de emisiones, del volumen y composición de éstas, así como de la concentración de los contaminantes en la atmósfera. Esta información, que es la base de los programas tendientes a mejorar la calidad del aire, proviene principalmente de los inventarios de emisiones y de las redes de monitoreo (Cañada-Torrecilla, 2005).

Los contaminantes atmosféricos son con frecuencia responsables de la aceleración de la degradación de la piedra en los edificios y monumentos históricos de las zonas urbanas. Son muchos los factores que influyen de manera decisiva en el comportamiento de las piedras naturales ante los contaminantes

gaseosos. Dos de esos factores son la composición de la atmósfera y el tipo de piedra (Müller, 2008).

El dióxido de azufre es un contaminante atmosférico llamativo, lo que representa una gran preocupación por la salud pública en la sociedad moderna. Por otra parte, pocos informes en la literatura se refieren a la naturaleza de las interacciones moleculares de SO₂ y líquidos iónicos. Tal conocimiento podría proporcionar la razón para optimizar la capacidad de absorción de SO₂ mediante la elección juiciosa de los cationes y aniones (Ando *et al.*, 2007).

El dióxido de azufre se genera cuando se utilizan materias primas con un alto contenido de azufre, como sucede con el fabricante de óxido de zinc de los minerales. En la reacción de torrefacción exotérmica, el azufre se libera como dióxido de azufre. La evaporación del disolvente y el arrastre de las gotas tienen lugar en la corriente de gas, dando lugar a pérdidas de disolventes y su liberación al medio ambiente. Por lo tanto, las fibras cerámicas son de interés para esta aplicación. Se estudia la eficiencia del proceso considerando las concentraciones típicas de dióxido de azufre en la corriente de gas y el coeficiente de transferencia total de masa (Luis *et al.*, 2008).

Este contaminante ha experimentado una espectacular mejoría como consecuencia de diferentes actuaciones llevadas a cabo por el Ayuntamiento de Madrid, que recordaremos brevemente figura 1. Destacamos el Plan de Saneamiento Atmosférico de 1982, que dio sus frutos a finales de los años ochenta. Este Plan tuvo una primera etapa de 1981-1982, en la que se realizó un primer inventario de emisiones que permitió conocer la participación de los diferentes tipos de fuentes. Se planteó la revisión periódica del parque de automóviles diésel, la calidad de los combustibles sólidos y se amplió la red automática de control de la contaminación (Moreno-Jiménez y Cañada-Torrecilla, 2007).

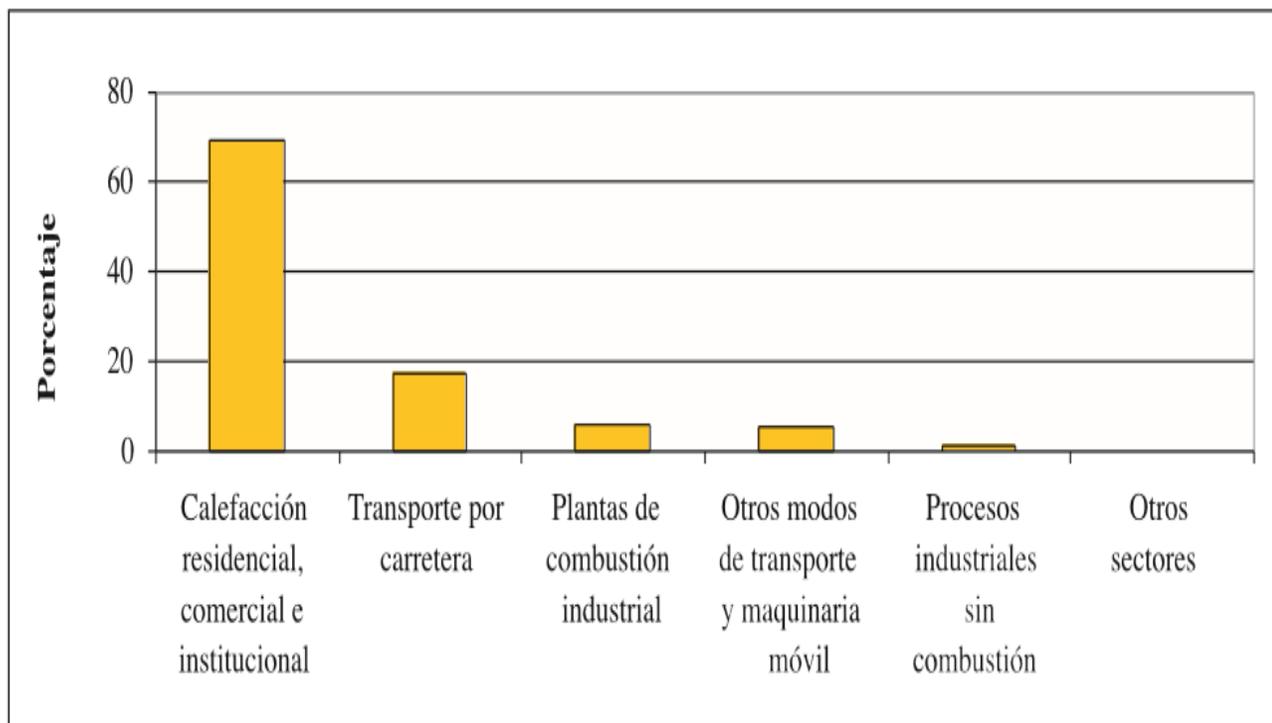


Figura 1. Origen de la contaminación atmosférica por SO₂ en Madrid Moreno-Jiménez y Cañada-Torrecilla (2007).

El dióxido de azufre o SO₂ ha sido uno de los principales gases contaminantes en Europa. En el momento actual su papel como gas contaminante responsable de problemas de salud pública ha disminuido merced a las iniciativas gubernamentales de los países del CE orientadas al control de emisiones contaminantes. En tal sentido, tanto las directivas europeas sobre control de niveles de contaminación del aire como la OMS establecen límites mínimos de umbral de contaminación por este tóxico considerados seguros para la salud pública. Sin embargo, ocasionalmente, siguen apareciendo episodios aislados de contaminación ambiental por SO₂ en niveles superiores a los permitidos provocando situaciones de peligro para la salud pública (P.M. y M.S, 2003).

La oxidación atmosférica en fase acuosa del dióxido de azufre por el oxígeno contribuye a la acidificación de las aguas atmosféricas. Sin embargo, los radicales sulfatos son adecuados para degradar solamente aquellos

contaminantes orgánicos, que tienen altos valores de K_{inh} (Meena *et al.*, 2017). Sin embargo, el conocimiento de los contaminantes y de las fuentes de emisión no abarca el complejo proceso de la contaminación atmosférica. Las características estructurales y dinámicas de la atmósfera y las características morfológicas del terreno determinan la dispersión de los contaminantes en el espacio y su evolución temporal. La dispersión configura la diferente concentración de contaminantes en la atmósfera (inmisión) en la zona de influencia de la fuente emisora. La evolución de los contaminantes conlleva la aparición de otros nuevos no emitidos por la fuente directamente: son los contaminantes secundarios, como el ozono formado a partir de los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz solar, o el ácido sulfúrico formado a partir de la oxidación del dióxido de azufre (Aránguez *et al.*, 1999).

2.2 Que es el dióxido de azufre

El dióxido de azufre (SO_2), por otro lado, es un gas incoloro, de olor acre, soluble en agua, reactivo e irritante para el sistema respiratorio y puede conducir, con una exposición de larga duración, al incremento de enfermedades de las vías respiratorias. Es un gas que puede ser emitido a la atmósfera por fuentes antrópicas y naturales. Las principales fuentes antrópicas son las asociadas a la quema de combustibles fósiles, biomasa y a la fundición de metales. Las emisiones naturales de azufre son de los océanos en la forma de dimetilsulfuro (DMS) y las emisiones volcánicas. Dichas emisiones contribuyen a la formación igualmente de las lluvias ácidas (Barcelona-Cazanave *et al.*, 2015).

El dióxido de azufre (SO_2) es uno de los principales compuestos del escape del vehículo, así como las principales emisiones de las centrales térmicas y el proceso de producción de productos químicos (Zhang *et al.*, 2017).

2.2.1 Propiedades

El SO_2 es de una sustancia reductora que con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad se convierte en trióxido de azufre. La velocidad de esta reacción en condiciones normales es baja. En agua se disuelve formando una disolución ácida. Su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días (Carnicer, 2007).

El dióxido de azufre es un intermedio importante en la producción del ácido sulfúrico. Se forma en la combustión de azufre elemental o sulfuros (p. ej. la pirita FeS_2 , la wurzita o la blenda (ambos ZnS), la galena PbS , etc.) Luego es oxidado en una segunda etapa al trióxido de azufre (SO_3) que puede ser transformado directamente en el ácido sulfúrico. Antiguamente se empleaba platino como catalizador de esta reacción, compuesto que ha sido sustituido en los sistemas más modernos por pentóxido de vanadio (V_2O_5) Para su síntesis en el laboratorio es a menudo más conveniente añadir ácido sobre sulfito (Carnicer, 2007).

El SO_2 también se emplea en la industria del papel y la pulpa de madera como agente blanqueador. Otro de sus usos más destacados es como aditivo en vinos, donde se aplica para evitar el crecimiento de levaduras (acción desinfectante) y para prevenir la oxidación del alcohol etílico a ácido acético (vinagre) (Carnicer, 2007).

2.2.2 Características

En los humanos el dióxido de azufre es absorbido rápidamente por el tracto respiratorio, el umbral de detección para el sabor y olor son muy bajos < 0.001 ppm, Valores de 1 ppm producen la constricción de las vías respiratorias, Concentraciones elevadas de SO_2 suelen estar asociadas con concentraciones elevadas de partículas, Concentraciones de partículas y óxidos de azufre entre 80-100 mg/m^3 producen un aumento de la mortalidad en personas de más de 50 años, Concentraciones de SO_2 de 130 mg/m^3 (0.046 ppm) producen un aumento en la morbilidad y de la gravedad de enfermedades respiratorias en niños de

edad escolar y Concentraciones de SO_2 mayores a 140 mg/m^3 producen aumento en la morbilidad de las personas mayores (López y Flores, 2007).

Las emisiones de SO_2 se suelen separar según su origen en antrópicas y naturales. Entre las primeras se encuentran aquellas asociadas a la quema de combustibles fósiles, biomasa y a la fundición de metales. De las emisiones naturales de azufre, las principales corresponden a las emisiones oceánicas de dimetilsulfuro (DMS) y a las emisiones volcánicas de azufre. Las emisiones antrópicas se pueden agrupar en fuentes móviles o fijas. Dentro de las primeras se encuentra el transporte público y privado ya sea de carga o de pasajeros y, en las segundas, se encuentran las calderas, hornos, centrales termoeléctricas, fundiciones de metales, etc. a excepción de las centrales termoeléctricas y las fundiciones, las fuentes mencionadas están vinculadas a los centros urbanos y, en general, las emisiones de azufre serán mayores mientras más grande y más desarrollada sea la ciudad (López y Flores, 2007).

2.2.3 Producción de dióxido de azufre

El SO_2 es producido por la combustión de derivados del petróleo y carbón, ricos en azufre. El petróleo extraído en Venezuela presenta la particularidad de contener grandes cantidades de Azufre, de manera que durante su refinación se libera a la atmósfera SO_2 (García v, 1977).

Según Environment Canadá, los sectores industriales responsables de las mayores emisiones de dióxido de azufre (SO_2) en Canadá son la fundición de concentrados metálicos y la generación de energía. En Alberta, las actividades industriales que conducen a las mayores emisiones de SO_2 son actividades de producción de petróleo y gas (que incluyen procesamiento de gas natural), producción de energía eléctrica y actividades de arenas petrolíferas. Entre las provincias y territorios canadienses, Alberta es el segundo mayor emisor de SO_2 , son emisiones de 608 kt en 1995 y 548 kt en 1999 (Burstyn *et al.*, 2007).

El SO₂ es producido por la combustión de combustibles fósiles portadores de azufre aplicados para la generación de energía térmica, la calefacción, la cocción y el transporte. Las refinerías de petróleo y las fundiciones de mineral son fuentes adicionales (Daniellys-Alejo *et al.*, 2013).

2.2.4 Generación de dióxido de azufre

El dióxido de azufre se genera cuando se utilizan materias primas con un alto contenido de azufre, como sucede con el fabricante de óxido de zinc de los minerales (Luis *et al.*, 2008).

Los compuestos de azufre pueden generarse por el uso de combustibles y / o materias primas que contengan este elemento como impureza, fundamentalmente en forma de piritas (sulfuro de hierro) o yeso (sulfato cálcico), y de los aportes de azufre de las aguas utilizadas en la humectación de la composición (sulfatos en disolución) (Monfort *et al.*, 2010).

El SO₂ se genera por oxidación del azufre contenido en los combustibles al quemarse estos. El SO₂ se genera por oxidación del azufre contenido de los combustibles al quemarse estos. Otra fuente importante es la oxidación del H₂S. de forma natural es emitido debido a la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del emitido a la atmósfera procede de las actividades humanas, aunque en los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas (sustitución de carbones de baja calidad por combustibles de más limpios) (Ballester, 2005).

2.2.5 Concentración del SO₂

La concentración de SO₂ se ve aumentada en aquellas zonas (ciudades) donde existe gran número de vehículos cuya combustión es a gasolina o gasoil;

pudiéndose encontrar en algunos casos concentraciones tóxicas para las plantas (García v, 1977).

Las concentraciones de SO₂ son un indicador común de la calidad del aire en epidemiología ambiental (Burstyn *et al.*, 2007). La concentración de contaminantes que se mantiene en el muestreador pasivo depende del período de exposición a la atmósfera, de la cantidad total de transferencia de gas recogida en el tubo de muestreo pasivo, de la estructura geométrica del tubo y del coeficiente de difusión, de la temperatura ambiente, de la humedad ambiental, de la resistencia sorbente y de la velocidad superficial (Anda, 2014).

Este artículo describe un enfoque recientemente desarrollado basado en la espectroscopia de absorción óptica diferencial ultravioleta (UV) (DOAS) para la medición de la concentración de SO₂. Sin embargo, la precisión de medición de la concentración de SO₂, especialmente a baja concentración, está inevitablemente limitada por la influencia del ruido electrónico debido a las dos longitudes de onda adyacentes adoptadas en este enfoque. En este artículo se presenta un enfoque de evaluación modificado para la medición de la concentración de SO₂. Se establece una relación lineal entre la concentración de SO₂ y el parámetro óptico (OP) mediante la ley de Beer-Lambert (Wang *et al.*, 2010).

Las emisiones de SO₂ que conducen a concentraciones elevadas de SO₂ en el aire generalmente también conducen a la formación de otros óxidos de azufre (SO_x). El SO_x puede reaccionar con otros compuestos en la atmósfera para formar pequeñas partículas. Estas partículas contribuyen a la contaminación de partículas (PM): las partículas pueden penetrar profundamente en partes sensibles de los pulmones y causar problemas de salud adicionales (EPA, 2004). Una parte central de este estudio fue el desarrollo de un instrumento novedoso capaz de medir las concentraciones de SO₂ en tiempo real a niveles por debajo de los previamente medidos en el escape del vehículo (Pisano *et al.*, 2003).

Las variables de exposición correspondieron a las concentraciones medias de 24 h de los contaminantes del aire dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y total de partículas en suspensión (TPS) del año 2002, salvo para Madrid y la Coruña, donde corresponden a 2003 (Arnedo-Pena *et al.*, 2009).

La concentración de SO_2 en el producto gaseoso es relativamente baja, sin embargo, a medida que aumenta la presión, esta concentración hace una ligera disminución. Otro resultado interesante es que la elevación de la presión de pirolisis conduce a una reducción en la cantidad de azufre en el carbón (Duan *et al.*, 2017).

2.3 Ciclo del azufre

Los mayores depósitos de azufre son de tipo sedimentario encontrándose en el agua y el suelo principalmente. Se trata por tanto de un ciclo sedimentario. No obstante, una parte pequeña del azufre se encuentra en la atmósfera en fase gaseosa formando anhídrido sulfuroso (SO_2), y sulfuro de hidrógeno (SH_2). La principal fuente de azufre para los organismos es el sulfato inorgánico disuelto en el agua que es absorbido por las plantas y utilizado en la formación de aminoácidos azufrados. Parte de este azufre pasa a la atmósfera en forma de sulfuro de hidrógeno (SH_2) por el ataque producido por las bacterias heterótrofas a los desechos orgánicos (Carnicer, 2007).

La fase sedimentaria del ciclo corresponde a la precipitación de azufre bajo condiciones anaerobios en presencia de hierro partiendo de sulfuro de hidrógeno (SH_2) lo que produce una acumulación lenta y continua de azufre en los sedimentos profundos. Cuando esta acumulación de azufre se produce en yacimientos carboníferos y petrolíferos, da como consecuencia la presencia de este elemento en los combustibles fósiles (Carnicer, 2007).

2.4 Principales Fuentes de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera

Se emite a la atmósfera en forma de SO_2 durante la quema de combustibles y el procesamiento de los minerales. Durante las horas y días siguientes, el SO_2 se oxida todavía más, convirtiéndose en sulfato y ácido sulfúrico suspendidos en pequeñas partículas que se eliminan del aire mediante precipitación y/o deposición seca. Esta deposición de azufre es, junto con la deposición similar de nitrógeno procedente de las emisiones de NO_x y NH_3 , la causa de la acidificación de los ecosistemas (suelo, lagos y ríos), fenómeno conocido como lluvia ácida (Carnicer, 2007).

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión de productos petrolíferos y de carbón. Otra fuente muy importante es la oxidación del SH_2 . Sin embargo, algunas fuentes naturales también contribuyen a su emisión, como es el caso de los volcanes o del metabolismo anaerobio (Carnicer, 2007).

La combustión de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de SO_2 y NO_x . Las centrales eléctricas de combustibles fósiles han sido el principal objetivo de los programas de reducción de emisiones, ya que son la categoría de fuentes puntuales con las mayores emisiones (Pinkerton, 2007).

Dióxido de azufre (SO_2). Los gases de la familia de los óxidos de azufre (SO_x), entre los que se encuentra el bióxido de azufre (SO_2), son incoloros y de olor irritante; se forman al quemar combustibles con azufre, y tienden a disolverse fácilmente en agua (Salazar-Peralta *et al.*, 2016).

La fuente primaria de emisiones de SO_2 es la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, tales como combustóleo, diésel y carbón (Salazar-Peralta *et al.*, 2016). El dióxido de azufre (SO_2) es uno de los principales compuestos del

escape del vehículo, así como las principales emisiones de las centrales térmicas y el proceso de producción de productos químicos. Por lo tanto, es muy deseable explorar un nuevo material de detección y un método para la detección de SO₂ a temperatura ambiente. Debido a su toxicidad para la salud humana y la contaminación ambiental, la detección de trazas de gas SO₂ ha atraído considerable atención (Dongzhi *et al.*, 2017).

El gas de dióxido de azufre (SO₂) se emite tanto natural como antropogénicamente a través de erupciones volcánicas y combustión de combustibles fósiles (Chase *et al.*, 2016). Los productos químicos peligrosos pueden escaparse al medio ambiente por accidente, pero una serie de contaminantes del aire son liberados de las instalaciones industriales y otras actividades y pueden causar efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente (Kampa-Marilena y Castanas-Elias, 2008).

Las fuentes naturales de SO₂ incluyen erupciones volcánicas, decaimiento biológico e incendios forestales (Salazar-Peralta *et al.*, 2016).

Las centrales térmicas son las principales fuentes de contaminación atmosférica, la gran cantidad de SO₂ emitida por la combustión del carbón provoca graves contaminaciones atmosféricas y daña gravemente la vida, la producción y la salud de las personas y debe ser controlada (Jafar-Ghani, 2017). La combustión de compuestos orgánicos de azufre presentes en combustibles y lubricantes en dióxido de azufre (SO₂) y otras especies gaseosas que contienen azufre juega un papel crítico en la reducción de otros contaminantes sobre un catalizador de vehículo (Pisano *et al.*, 2003).

Las principales fuentes de dióxido de azufre son los volcanes, diversos procesos industriales, transporte, desarrollo económico, carbón, petróleo, combustibles domésticos y vehículos en mega ciudades. Varios estudios muestran una conexión entre la exposición al dióxido de azufre y el aumento de las visitas a los

departamentos de urgencias y las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (Gholamreza *et al.*, 2016).

La más importante es la combustión de los carburantes fósiles, ya que todos contienen compuestos de azufre como contaminante. Así, el carbón y el fuel pueden tener hasta un 3% de azufre, mientras que los petróleos suelen presentar alrededor del 0.05 por ciento. La tostación de minerales sulfurados es otra importante de contaminación (Spedding, 2002).

Era de esperar que la alta emisión total de SO₂ condujera a elevadas concentraciones de este gas en la atmósfera. En determinadas regiones próximas a grandes fuentes de contaminación las concentraciones de SO₂ pueden alcanzar valores tan altos como 1 mg kg⁻¹ (unos 3000 µg m⁻³), pero su concentración media se estima en 0.3 a 1.0 µg m⁻³ (Spedding, 2002).

En los Estados Unidos, las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) siguen siendo un foco de las agencias reguladoras, a pesar de que las emisiones totales han estado disminuyendo durante algún tiempo y las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental para SO₂ y NO₂ están siendo muy importante en todo el país (Pinkerton, 2007).

Las emisiones domésticas de SO₂ están directamente relacionadas con el rápido desarrollo de la industria pesada de China y su estructura energética del consumo de energía primaria. Sin lugar a dudas, la reducción de SO₂ desempeña un papel clave en el tratamiento de las actuales preocupaciones de China sobre la degradación del medio ambiente y la cooperación internacional (Shuhua *et al.*, 2011).

Para este estudio, las emisiones de SO₂ del motor también debían medirse en tiempo real para permitir que los datos estuvieran correlacionados con las

velocidades de flujo de escape resueltas en el tiempo para proporcionar las tasas de emisión masiva de SO₂ (Pisano *et al.*, 2003).

2.5 Contaminación atmosférica

El dióxido de azufre entra en la atmósfera de la Tierra a través de procesos antropogénicos. Mediante la formación de sulfato Aerosoles y ácido sulfúrico, desempeña un papel importante en la química a escala local y global y su impacto va desde la contaminación a corto plazo hasta el forzamiento climático. Aunque alrededor de un tercio de las emisiones mundiales de azufre proceden de (Volcanes y sulfuro de dimetilo biogénico), el principal contribuyente al presupuesto total proviene de las emisiones antropogénicas, principalmente de la combustión de combustibles fósiles (carbón y petróleo) y de fundición. En las últimas décadas, se han utilizado una serie de instrumentos UV-visibles basados en satélites para el monitoreo de las emisiones antropógenas y volcánicas de SO₂ (Theys *et al.*, 2017).

El SO₂ es un componente importante en la contaminación del aire. El SO₂ causa una amplia variedad de impactos en la salud y el medio ambiente debido a la forma en que reacciona con otras sustancias en el aire. Los grupos particularmente sensibles incluyen a las personas con asma que están al aire libre activas y los niños, los ancianos y las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar (Jafar, 2017).

Se ha comprobado la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y el anhídrido sulfuroso (SO₂), y la aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias tanto en los hombres como en las mujeres adultas. Se ha observado igualmente, que cuando las concentraciones tanto de SO₂ como de partículas en suspensión superan los 500 microgramos / metro cúbico de aire, como promedio de 24 horas, se produce un aumento de la mortalidad en la población en general, siendo los grupos más

sensibles los individuos con procesos cardíacos o pulmonares. Con promedios diarios de 250 microgramos / metro cúbico de SO₂ y de humos se ha registrado el empeoramiento en los enfermos con afecciones pulmonares (Uribazo-Díaz *et al.*, 2006). La niebla de Londres se caracterizó por concentraciones muy altas de humo negro y dióxido de azufre (SO₂) en la atmósfera, liberadas en gran parte por la combustión doméstica del carbón (Jordi-Sunyer *et al.*, 2003).

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre (Romero-Placeres *et al.*, 2006).

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales de mayor importancia en la actualidad, se presenta como el resultado del crecimiento de las ciudades y del progreso desmedido del ser humano. Lo que origina la contaminación principalmente es el resultado de las actividades industriales, vehiculares, comerciales, domésticas, agropecuarias, entre otras (Chica-Segovia *et al.*, 2001).

2.5.1 Daños a la salud humana y medio ambiente por la contaminación de SO₂

Es de destacar que las concentraciones de partículas en suspensión y de SO₂ que pueden provocar la aparición de efectos sobre la salud, pueden variar de un lugar a otro según cuáles sean las características físicas y químicas de las partículas, y en función de la presencia en el aire de otros contaminantes que puedan producir efectos sinérgicos con aquellos (Uribazo-Díaz *et al.*, 2006).

El SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la

propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados. En combinación con el agua, el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación (Sanitarios, 2016).

El dióxido de azufre es un contaminante atmosférico llamativo, lo que representa una gran preocupación por la salud pública en la sociedad moderna (Rómulo *et al.*, 2017). Los efectos en la salud por la exposición al SO₂ son afecciones respiratorias (como asma) y debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes y muerte (García-Mario *et al.*, 2013).

El SO₂ causa una amplia variedad de impactos en la salud y el medio ambiente debido a la forma en que reacciona con otras sustancias en el aire. Los grupos particularmente sensibles incluyen a las personas con asma que están al aire libre activas y los niños, los ancianos y las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar. La eliminación del SO₂ de las mezclas de gases por absorción química es uno de los procesos más importantes para la protección del medio ambiente (Jafar-Ghani, 2017).

Los efectos más importantes para la salud del dióxido de azufre se clasifican en dos clases; Los efectos a corto plazo están asociados con la concentración máxima de SO₂ y los impactos a largo plazo que están relacionados con la concentración promedio de dióxido de azufre (Gholamreza *et al.*, 2016).

Además, altas concentraciones de SO₂ pueden afectar la función pulmonar, empeorar los ataques de asma y agravar la enfermedad cardíaca existente en grupos sensibles. Además, el SO₂ puede reaccionar con otros productos químicos en el aire y convertirse en pequeñas partículas que pueden alojarse en los pulmones y causar efectos similares a la salud (Chan-Chiung *et al.*, 2017).

Para minimizar el riesgo potencial para la salud humana, se requieren métodos efectivos para medir el contenido de SO₂ en líquidos, gas y medios sólidos. Los métodos tradicionales para la determinación de SO₂ en los alimentos requieren la destilación de la muestra en condiciones ácidas seguida de titulación (Chan-Chiung *et al.*, 2017).

Los efectos derivados de la exposición al dióxido de azufre varían según su concentración y duración. Afecta sobre todo a las mucosidades y los pulmones, provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, debido a su elevada solubilidad, la exposición a elevadas concentraciones durante cortos períodos de tiempo (exposición aguda) puede causar irritación del tracto respiratorio, bronquitis y congestión de los conductos bronquiales, especialmente en personas asmáticas. Además, diversos estudios han demostrado que la exposición crónica a este contaminante induce efectos adversos sobre la mortalidad, la morbilidad y la función pulmonar (Carnicer, 2007). Las malas condiciones del aire pueden lograr que hasta la gente sana llegue a tener ataques de asma, el llevar un control de la calidad del aire y también de la contaminación de los carros, fábricas y plantas de poder podría ayudar a cambiar esto, por lo que es importante que la gente vulnerable a estos ataques sea informada de las opciones que tiene para poder prevenirlos (López y Flores, 2007).

Además de los daños ejercidos sobre la salud, el dióxido de azufre constituye uno de los agentes causantes el deterioro de monumentos históricos (mal de la piedra), induciendo igualmente alteraciones morfológicas y fisiológicas en los receptores vegetales. En estos últimos el SO₂, tras penetrar por las estomas, causa daños en el mesófilo que conducen a la aparición de manchas necróticas de diferente color en función de la especie y la concentración. Estos daños, que afectan mayoritariamente a las hojas más jóvenes, se extienden en ambas caras (haz y envés), progresando desde la base hasta el ápice foliar (Carnicer, 2007).

En Estados Unidos, las estadísticas indican que alrededor de 20 millones de personas, tienen o podrían tener ataques de asma. Cuando estos ataques ocurren, las vías respiratorias se obstruyen e inflaman, llenándose de mucosidad. El pecho se siente contraído, existe posibilidad de ataques de tos, o simplemente mucha dificultad para respirar. En casos muy severos los ataques de asma pueden ser mortales. Estos matan alrededor de 5000 personas al año, solo en la región de Estados Unidos (López y Flores, 2007).

2.6 Efectos perjudiciales del SO₂

2.6.1 Efectos del SO₂ en humanos

Se dispone de pocos datos sobre los efectos causados por la contaminación atmosférica del SO₂ sobre la salud humana. El clásico estudio epidemiológico de la niebla indican que la inhibición de la glicólico-oxidasa se produce en plantas de cebada tratadas con SO₂. La trascendencia de estas observaciones exige más pruebas experimentales (Spedding, 2002). Los efectos más importantes para la salud del dióxido de azufre se clasifican en dos clases; Los efectos a corto plazo están asociados con la concentración máxima de SO₂ y los impactos a largo plazo que están relacionados con la concentración promedio de dióxido de azufre (Gholamreza *et al.*, 2016).

2.6.2 Efectos sobre materiales de construcción

Durante muchos siglos se han utilizado calizas y mármoles como materiales de construcción. Los efectos de la contaminación sobre las calizas se observan claramente, sobre todo en las ciudades industriales, donde se aprecia una manifiesta erosión de los edificios los objetos de ornamentación (Spedding, 2002).

La cantidad de SO₂ absorbida por la caliza crece con la humedad relativa, siendo el gas oxidado hasta sulfato, que queda incluido en el CaCO₃. Dado que el

volumen molecular del CaSO_4 es mayor que el del CaCO_3 , se crean fuertes tensiones mecánicas a escala molecular que ocasionan la demolición de la caliza. Por otro lado, el CaSO_4 es lavado con más facilidad que el carbonato por el agua de lluvia en razón de su mayor solubilidad (209 mg ml^{-1} y 1.4 mg ml^{-1} , respectivamente). Obras de arte, en especial pinturas al fresco, son asimismo susceptibles de que las dañe el SO_2 . Un fresco auténtico consiste en una capa de caliza pigmentada que también puede convertirse en CaSO_4 en presencia del SO_2 . El mármol es menos susceptible al ataque por el SO_2 probablemente por su escasa porosidad (Spedding, 2002).

2.6.3 Efecto sobre los metales

Observaciones sobre la velocidad de corrosión, realizadas en paneles testigo de diversos metales situados en lugares diferentes, han demostrado que la mayoría de ellos experimentan su máxima corrosión en atmósferas industriales. La velocidad de corrosión en estas condiciones está estrechamente relacionada con la concentración de SO_2 en la atmósfera y con el grado de humedad de las superficies metálicas (Spedding, 2002).

2.7 Óxidos de azufre y otros compuestos de azufre

De los posibles óxidos de azufre que existen solo el dióxido y el trióxido son importantes del aire. Otros compuestos de azufre como los sulfatos se asocian principalmente a partículas atmosféricas. El SH_2 por otra parte se oxida rápidamente a SO_2 incrementando la concentración de este (Ballester, 2005).

Trióxido de azufre (SO_3). Se emite conjuntamente con el SO_2 en una proporción del 1 a 5 %. Además, es un contaminante secundario que se forma cuando el

SO₂ reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Este gas está implicado en la producción de lluvia ácida (Ballester, 2005).

Otros compuestos de azufre. Algunos otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. Son emitidas a la atmósfera por fuentes contaminantes, principalmente de papeleras que lo utilizan para extraer celulosa de la madera. Una vez en la atmósfera el H₂S se oxida a SO₂. Los sulfatos (SO₄²⁻) procedentes de los aerosoles marinos, la erosión de suelos desérticos y la oxidación del SO₂ se asocian a partículas atmosféricas, por lo que serán tratados más adelante (Ballester, 2005).

2.7.1 Otras fuentes de azufre existentes en el país

La demanda de azufre requiere el empleo de otras fuentes, como yacimientos minerales, que tengan un alto contenido del mismo (como por ejemplo la pirita). En nuestro país existen yacimientos de pirita en varias provincias, pero el único que actualmente está en total explotación es el de Santa Lucía, en Pinar del Río. El mismo está compuesto por cuatro minerales fundamentales, entre ellos se encuentra el azufre en forma de pirita que en la cantidad se utiliza la obtención de ácido sulfúrico. Las piritas son las menas de azufre en las que la especie química preponderante es el disulfuro de hierro, S₂Fe. Las piritas suelen ir acompañadas de ganga térrea, de pequeñas cantidades de arsénico (0-1%), de cobre, plomo y zinc en proporciones variables (en general, suman menos del 6%) y cantidades mínimas de plata, oro, selenio, cobalto y según otro elemento. Contienen entre un 2 y un 5% de agua, presenta un color gris amarillento con brillo metálico, su densidad es de aproximadamente 5 g/cm³, su peso aparente está entre 2200-2400 kg/m³ y su calor específico es de 0.128 Kcal/Kg °C (Rodríguez-Acosta *et al.*, 2006).

2.8 Descripción de los contaminantes atmosféricos más importantes

2.8.1 Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro e insípido que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural y no es tóxico. Desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza y enormes cantidades, del orden de 1012 toneladas, pasan por el ciclo natural del carbono, en el proceso de fotosíntesis. Emisiones de CO₂ proceden de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), de las plantas eléctricas, y del transporte (Molina-Jiménez, 2013).

2.8.2 Monóxido de carbono (CO)

Es un gas contaminante primario, sin color, olor ni sabor. Tiene una reactividad inferior a los óxidos de azufre y de nitrógeno y los procesos de eliminación por depósito no parecen ser tan efectivos. Ello explica que el tiempo de permanencia en la atmósfera sea del orden de un mes (Molina-Jiménez, 2013).

Es uno de los contaminantes más abundantes en la baja atmósfera. Su origen está principalmente en la combustión incompleta de combustiones carbonosas. Las emisiones antropogénicas, consecuencia de las actividades humanas, lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO₂, el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales (Molina-Jiménez, 2013).

2.8.3 Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un importante contaminante primario. Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante. En conjunto, más de la mitad del SO₂ que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalúrgica. Otra fuente muy importante es la oxidación del H₂S. en la naturaleza, es emitido en la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del SO₂ emitido a la atmósfera

procede de las actividades humanas, aunque gracias a las medidas adoptadas (Molina-Jiménez, 2013).

Los óxidos de azufre causan generalmente problemas en la zona superior del sistema respiratorio, tales como constricciones bronquiales e irritación de ojos y garganta. El mayor perjuicio lo causan cuando junto con la humedad y material particulado existentes en el aire forman nieblas de ácidos sulfúrico y sulfuroso (neblinas y lluvias ácidas) (Andres *et al.*, 1997).

2.8.4 Trióxido de azufre (SO₃)

El SO₃ es un contaminante secundario que se forma cuando el SO₂ reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente, este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción monumentos y construcciones de piedra. Algunos otros gases compuestos de azufre, como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. Estos contaminantes son, por tanto, eliminados por la lluvia ácida tanto el proceso de formación de gotas, como en el lavado por la lluvia misma. También las partículas de sulfatos sedimentan sobre la superficie y la vegetación (Molina-Jiménez, 2013).

2.9 Toxicidad de corto plazo al SO₂

Exposición de corto plazo a concentraciones muy bajas de SO₂ causa una sensación de ardor en la nariz y garganta. Además, provoca una dificultad para respirar, incluyendo cambios en la habilidad del organismo para tomar un respiro, respirar profundamente, o respirar un mayor volumen de aire por bocanada. Existe abundante evidencia acerca de la toxicidad de corto plazo del SO₂ en

humanos, además de evidencia de estudios llevados a cabo en animales de laboratorio (Coetzee *et al.*, 2013).

El SO₂ se disuelve en la humedad en la piel, ojos, y membranas mucosas para formar ácido sulfuroso (H₂SO₃), un irritante e inhibidor del transporte mucociliar. La mayoría del SO₂ inhalado es detoxificado por el hígado en forma de sulfatos y luego excretado en la orina. El ion bisulfito es muy probable que sea el principal iniciador de la broncoconstricción inducida por el SO₂. Una exposición al SO₂ puede afectar múltiples sistemas del organismo. En ratón de laboratorio, exposición a SO₂ inhalado por 6 horas por día por 7 días causa daño oxidativo al cerebro, pulmón, corazón, hígado, estómago, intestino, bazo, riñones y testículos (Coetzee *et al.*, 2013).

2.10 Métodos de eliminación de dióxido de azufre

2.10.1 Eliminación de dióxido de azufre con óxido de calcio

La neutralización a través de cambiar la composición química del dióxido de azufre es una opción para eliminar el gas de las emisiones de las instalaciones industriales y energéticas. Los experimentos que ilustran los efectos de la combinación de dióxido de azufre con sodocálcico, que se compone de óxido de calcio e hidróxido de sodio, han demostrado ser eficaces en la conversión de dióxido de azufre en sulfuro de calcio. La conversión se produce debido a la reacción del dióxido de azufre a óxido de calcio, no sólo cambia el compuesto químico, sino también la reducción de la presión del gas (Nava *et al.*, 2003).

2.10.2 Eliminación de dióxido de azufre con depuradores

Usados en la eliminación de partículas de gas de chimeneas industriales, los depuradores funcionan para eliminar el dióxido de azufre y otros gases antes de ser liberados en el medio ambiente. Los depuradores no regenerativos y regenerativos se utilizan para eliminar el dióxido de azufre, con las partículas

eliminadas por el depurador regenerativo recicladas en materiales utilizables. La forma más común de depurador utilizado para la eliminación de dióxido de azufre es el depurador húmedo no regenerativo, que absorbe los gases de combustión con suspensión de agua y piedra caliza. Así como la combinación de sodocálcico se indicó anteriormente, este proceso altera el compuesto químico y crea sulfato de calcio, también conocido como yeso, que luego se desecha o se recicla como paneles de pared o fertilizantes. Otro método de depurador emplea un depurador regenerativo que combina sulfito de sodio con el dióxido de azufre que resulta en bisulfito de sodio. El bisulfito de sodio se reduce luego al sulfito de sodio y el azufre usando un álcali, con el azufre que se utiliza para producir ácido sulfúrico (Nava *et al.*, 2003).

2.11 Tipos de contaminantes de aire de origen industrial

Existen tres tipos generales de contaminación atmosférica de origen industrial, tal como son definidos por sus diferentes características químicas, distribución y fuentes (resumido en la tabla 1).

La contaminación del aire de origen industrial ocurre como resultado de la liberación de contaminantes (emisiones) a la atmósfera. Los contaminantes se mezclan en el aire y son diluidos, pero pueden atravesar grandes distancias por la acción de los vientos predominantes, o si la chimenea de una industria es suficientemente alta para impulsarlos en la atmósfera. La dificultad para predecir con precisión las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera, constituye un problema fundamental para la ciencia que estudia la contaminación del aire (Yassi *et al.*, 2002).

2.11.1 Reductora

La contaminación atmosférica reductora es ocasionada principalmente por la emisión de dióxido de azufre (SO₂) y otras sustancias que se comportan en la atmósfera como agentes químicos reductores. Las emisiones de SO₂ son ocasionadas por la combustión de combustibles fósiles que contienen ciertas

cantidades de azufre; las emisiones de partículas ocurren con mayor intensidad cuando la combustión es ineficiente. La contaminación reductora del aire es producida principalmente por plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles, hornos industriales, fábricas de acero y vehículos pesados con motores diésel (Sellitto-Pasquale *et al.*, 2017).

2.11.2 Fotoquímica

La contaminación atmosférica fotoquímica, mucho más reciente en la historia de la humanidad, se origina como resultado de complejas reacciones químicas en la atmósfera que se producen por la acción de la energía de la luz solar. En la niebla fotoquímica, las emisiones ricas en óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, reaccionan produciendo ozono, compuestos específicos de nitrógeno y aldehídos, todos los cuales son altamente reactivos y químicamente oxidantes. Este tipo de niebla (smog) es causado principalmente por el tráfico de vehículos automotores, añadiéndose a las emisiones de las fuentes estacionarias, tales como los hidrocarburos procedentes de la gasolina, los solventes utilizados para la limpieza en seco y los óxidos de nitrógeno procedentes de plantas generadoras de energía. En muchas ciudades se ha logrado una reducción de la contaminación del aire mediante medidas de control, en tanto el tráfico de vehículos automotores se ha incrementado en todo el mundo, por lo que el smog fotoquímico ha emergido como un problema nuevo en unas ciudades o remanente en otras (Sellitto-Pasquale *et al.*, 2017).

2.11.3 De fuente puntual

Comúnmente este tipo de contaminación afecta la vecindad inmediata de la fuente, pero no involucra reacciones atmosféricas de gran envergadura. Los ejemplos incluyen el plomo en la vecindad de una fundición, el sulfuro de hidrógeno (H₂S) procedente de una fuente suministradora de gas, plaguicidas

procedentes de la aplicación agrícola y concentraciones de vapores procedentes de los escapes o la ruptura de un tanque. Con frecuencia estas emisiones ocurren como resultado de accidentes, en particular relacionados con la transportación de sustancias peligrosas por camión o tren (Sellitto-Pasquale *et al.*, 2017).

Tipo	Composición	Fuentes
Reductora	Dióxido de azufre, partículas	Fuentes estacionarias de combustión tales como plantas de generación de energía a partir de combustibles fósiles, hornos industriales, unidades de calefacción doméstica
Fotoquímica (oxidante)	Hidrocarburos y óxido nítrico emitidos por motores de combustión interna, mediante reacciones fotoquímicas complejas en presencia de luz solar, resultando una atmósfera con significativas concentraciones de ozono, dióxido de nitrógeno, aldehídos y nitratos orgánicos.	Emisiones de fuentes móviles, tales como automóviles, plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles, plantas petroquímicas y refinerías de petróleo.
De fuente puntual	Específicas de la fuente de emisión, por ejemplo, cerca de la fundición.	Industrias específicas; accidentes industriales o de transportación de sustancias químicas.

Figura 2. Tipos de contaminación del aire según sus características químicas y fuentes Yassi et al. (2002).

2.12 Calidad del aire

En China, la norma nacional de calidad del aire ambiente (GB 3095-2012) estipula que la cantidad de dióxido de azufre contenida en el aire ambiente no debe exceder de 21 ppb, 52.5 ppb y 175 ppb en promedio anual, diario y horario respectivamente (Lin *et al.*, 2017).

El aire es una mezcla compleja de varias sustancias. Sus principales constituyentes son el nitrógeno, oxígeno, y vapor de agua. En menor cuantía

presenta dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio (Matus y Rodrigo, 2002).

Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas (Matus y Rodrigo, 2002).

Los contaminantes primarios regulados fueron las partículas totales en suspensión (PTS), el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el contaminante secundario ozono (O₃). Los contaminantes atmosféricos que no están en forma de gas se denominan con el nombre genérico de partículas. Comprenden compuestos químicos en forma sólida o de gotitas líquidas. En función a su tamaño se clasifican en dos grupos, a) las partículas de mayor tamaño que en condiciones normales se depositan por acción de la gravedad, y constituyen la materia sedimentable o polvo; y b) las partículas de diámetro menor que no sedimentan fácilmente y forman en el aire suspensiones estables dotadas de movimiento *browniano*. Se denominan con el nombre de partículas en suspensión o aerosoles (Matus y Rodrigo, 2002).

El diagnóstico de la calidad del aire por si solo representa un aspecto fundamental en el proceso de definición, legislación, control y evaluación de la contaminación atmosférica en las diversas regiones (García *et al.*, 2003). Los problemas relacionados con la calidad del aire urbano están relacionados con al menos dos tendencias clave: (i) el aumento dramático del tráfico en las zonas urbanas y (ii) el correspondiente aumento de las emisiones relacionadas con el tráfico y el transporte (Mariusz *et al.*, 2016).

La calidad del aire en la ciudad de Cuenca se ha deteriorado en gran medida por el notable crecimiento del parque automotor (9% de crecimiento anual), el aumento en el consumo de combustibles fósiles (9,4% de crecimiento anual), la

mala calidad de los combustibles que se comercializan (altos contenidos de azufre en el diésel) en el país, y en menor grado, por la contaminación del aire ocasionada por emisiones industriales, mineras e incendios forestales (Chica-Segovia *et al.*, 2001).

Los Modelos de Calidad del Aire utilizan técnicas matemáticas y numéricas para simular aquellos procesos físicos y químicos que sufren los contaminantes en la atmósfera. Para esto utilizan una serie de datos de entrada como datos meteorológicos, del terreno, de uso del suelo y de información técnica de la fuente emisora (coordenadas geográficas, tasas de emisión, altura y diámetro de la chimenea, etc.) (Fonseca-Hernandez, 2013).

La gestión de la calidad del aire requiere información de diversos tipos, destacando la que se refiere a la identificación de los principales generadores de emisiones, del volumen y composición de éstas, así como de la concentración de los contaminantes en la atmósfera. Esta información, que es la base de los programas tendientes a mejorar la calidad del aire, proviene principalmente de los inventarios de emisiones y de las redes de monitoreo (Cañada-Torrecilla, 2005).

La información de calidad del aire generada por la RMCAB es también una herramienta de diseño de política pública, ya que sirve de soporte técnico y científico para las medidas y políticas que el gobierno local establece con el fin de mejorar las condiciones ambientales de la ciudad. Al mismo tiempo, en los registros de una red de monitoreo se encuentra la mejor información para hacer seguimiento a dichas medidas, de tal forma que se puede establecer si las mismas han tenido el efecto esperado (Gaitán *et al.*, 2007).

2.13 Impacto ambiental

Las emisiones de $\text{SO}_2(\text{g})$, $\text{SO}_3(\text{g})$ y vapor de H_2SO_4 representan los principales riesgos ambientales. En todos los casos, pueden contribuir a la lluvia ácida, se toma como referencia de contaminación la cantidad de SO_2/SO_3 liberado a la atmósfera, por unidad de producción de ácido sulfúrico. En escala global, las plantas de producción de ácido sulfúrico no representan la contribución principal a la lluvia ácida (Vimlesh-Kumar *et al.*, 2016).

Estos problemas ambientales globales se deben principalmente a la liberación de diversos contaminantes químicos como el amoníaco (NH_3), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de carbono (CO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y clorofluorocarbonos (CFC) de industrias, automóviles y hogares En la atmósfera. En consecuencia, es conveniente un monitoreo rápido y preciso de las emisiones de SO_2 para la vigilancia de la contaminación del aire y la protección de la salud humana. En las últimas décadas, se han desarrollado numerosas categorías de unidades de detección de SO_2 (Chaudhary y Kaur, 2015).

El principal impacto medioambiental asociado a la cocción de productos de cerámica estructural son las emisiones gaseosas a la atmósfera. Esta elevada concentración de industrias, junto con una legislación ambiental relativamente obsoleta, ha provocado en los últimos años una alteración significativa de la calidad del aire de la zona. Las medidas de mejora propuestas en el Plan de Calidad de Aire priorizan la reducción de los niveles de emisión partículas y de SO_2 para mejorar la calidad del aire en la zona (Monfort *et al.*, 2010).

2.14 Marco Normativo

Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994, establece la Contaminación atmosférica-para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y

condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión, publicado el 3 de septiembre de 2009 (NOM, 2012) .

Esta norma regula los Niveles Máximos Permisibles de Emisión (NMPE) de los contaminantes humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) que se emiten en los sistemas de combustión. Existen por parte de la SEMARNAT, gobiernos estatales y locales, programas particulares para monitorear los impactos a la atmósfera por emisiones, en particular PROAIRES y Sistemas de Monitoreo, en algún momento esa información es utilizada como insumo para establecer los NMPE (NOM, 2012).

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población (NOM, 2010). Esta Norma Oficial Mexicana establece los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente para la protección de la salud humana (NOM, 2010).

Norma oficial mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. El método de referencia para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, es el de la pararrosanilina. El método de referencia permite determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, por medio de la técnica analítica por vía húmeda de la pararrosanilina (NOM, 1993a).

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAM-002-ECOL/1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas

suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial (NOM, 1993b).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Gómez Palacio, estado de Durango, durante el periodo enero-junio de 2017 con el objetivo de determinar el impacto ambiental en el aire por el aumento de la emisión de dióxido de azufre por las actividades industriales. Para la determinación del aumento del contaminante denominado dióxido de azufre, esto se llevó a cabo, mediante la consulta del registro de los datos de contaminación atmosférica, capturados por la caseta de monitoreo ubicada en la colonia el Campestre de la Cd. De Gómez Palacio.



Figura 3. Estación Gómez Palacio.

La estación de monitoreo opera las 24 horas del día, todos los días del año, salvo cuando está en mantenimiento programado. La estación realiza el monitoreo atmosféricos de los principales contaminantes como son: Dióxido de azufre (SO₂), óxidos nitrosos (NO_x), partículas suspendidas totales (PST's) y monóxido de carbono (CO), así como las condiciones atmosféricas (Humedad relativa,

temperatura ambiente, precipitaciones pluviales, velocidad y dirección de viento, etc.). La estación de monitoreo es operada y administrada por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SRNyMA), dependencia del gobierno del Estado de Durango, que opera en la región integrada por las ciudades de Gómez Palacio y Lerdo, ambas en el estado de Durango.

4.1 Localización de la caseta

Los datos fueron tomados de las casetas de monitoreo de la calidad del aire que se ubica en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo., con ubicación de las siguientes coordenadas geográficas; Latitud norte: 25.589148 | Longitud oeste: -103.485862, Altitud: 1122 metros sobre el nivel del mar se realizará esta investigación con el propósito de determinar el aumento del dióxido de azufre.

4.2 Toma de lecturas

Para la toma de lecturas se utilizó un medidor de azufre atmosférico, marca ThermoFisher SCIENTIFIC modelo 43i SO₂ Analyzer, para la toma de muestras se muestrearon cuatro días del mes de abril del año 2016 y así mismo del año 2017 se llevó a cabo cada una hora, durante los días seleccionados.

Una vez teniendo los datos se pasaron a Excel, para procesar los datos de los días evaluados, obteniéndose los datos estadísticos de la Media, Mediana, Moda, Varianza y promedio de las muestras así mismo se mostró las gráficas del comportamiento.

4.3 Diseño experimental

El diseño estadístico fue completamente al azar. Ya que los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Excel, para la comparación de medias donde se utilizó el método de Tukey. Así mismo la metodología a emplear será un diseño estadístico no experimental, obteniendo las siguientes variables estadísticas; media, mediana, moda y varianza mediante el método Tukey.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos del análisis estadístico de los valores obtenidos por la caseta de monitoreo ambiental que opera y administra la secretaria de medio ambiente del estado de Durango, se obtuvieron los valores que se describe en la Tabla. 1. En ella se puede observar los datos tomados originalmente de la estación de monitoreo ubicada en la colonia Campestre de la Ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

Para la determinación de la concentración de dióxido de azufre se tomaron cuatro días al azar del mes de abril correspondiente a los años 2016 y 2017.

A continuación, se presentan las tablas en donde se indican los siguientes datos; fecha y hora de toma de la lectura y, concentración del contaminante denominado dióxido de azufre, como se mencionó anteriormente dichos datos se obtuvieron de la caseta ubicada en la colonia el Campestre de Gómez Palacio, Dgo, de igual manera se señala la determinación estadística de las variables media, moda, mediana y varianza.

MUESTREO # 1 DIA 6 DE ABRIL DEL AÑO 2016

MUESTREO DEL DÍA 6 DE ABRIL DE 2016.	
Fecha	Concentración del SO ₂ (ppm)
06/04/2016	8.8
06/04/2016 01:00	8.7
06/04/2016 02:00	8.6
06/04/2016 03:00	8.6
06/04/2016 04:00	8.4
06/04/2016 05:00	8.3
06/04/2016 06:00	8.2
06/04/2016 07:00	8.1
06/04/2016 08:00	8.3
06/04/2016 08:00	8.4

06/04/2016 09:00	8.3
06/04/2016 10:00	8.3
06/04/2016 11:00	8.2
06/04/2016 12:00	8.2
06/04/2016 13:00	8.5
06/04/2016 14:00	8.5
06/04/2016 15:00	8.5
06/04/2016 16:00	8.5
06/04/2016 17:00	8.6
06/04/2016 18:00	8.6
06/04/2016 19:00	8.6
06/04/2016 20:00	8.8
06/04/2016 21:00	8.9
06/04/2016 22:00	8.7

Tabla 1. Datos del día 6 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

MEDIA	8.48333333
MODA	8.6
MEDIANA	8.5
VARIANZA	0.04666667

.Tabla 2. Análisis de las variables estadísticas del día 6 de abril del 2016.



Figura 3. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta el Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 6 del mes de abril del año 2016.

MUESTREO # 2

MUESTREO DEL DÍA 13 DE ABRIL DE 2016	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
13/04/2016 01:00	6
13/04/2016 02:00	5.9
13/04/2016 03:00	5.7
13/04/2016 04:00	5.9
13/04/2016 05:00	6
13/04/2016 06:00	6.4
13/04/2016 07:00	6.5
13/04/2016 08:00	6.8
13/04/2016 09:00	6.8
13/04/2016 10:00	6.8
13/04/2016 11:00	6.6
13/04/2016 12:00	6.7
13/04/2016 13:00	6.8
13/04/2016 14:00	6.9
13/04/2016 15:00	6.8
13/04/2016 16:00	6.4
13/04/2016 17:00	6
13/04/2016 18:00	5.9
13/04/2016 19:00	6.1
13/04/2016 20:00	5.9
13/04/2016 21:00	5.8
13/04/2016 22:00	5.8
13/04/2016 23:00	5.9

Tabla 3. Datos del día 13 de abril, del año 2016, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

MEDIA	8.48333333
MODA	8.6
MEDIANA	8.5
VARIANZA	0.04666667

Tabla 4. Análisis de variables del día 13 de abril del año 2016.



Figura 4. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2016.

MUESTREO # 3

MUESTREO DEL DÍA 20 DE ABRIL DE 2016	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
20/04/2016	8.3
20/04/2016 01:00	8.5
20/04/2016 02:00	8.8
20/04/2016 03:00	8.7
20/04/2016 04:00	8.8
20/04/2016 05:00	8.9
20/04/2016 06:00	8.8
20/04/2016 07:00	8.9
20/04/2016 08:00	9.1
20/04/2016 09:00	9
20/04/2016 10:00	9
20/04/2016 11:00	9
20/04/2016 12:00	8.9
20/04/2016 13:00	9.1
20/04/2016 14:00	8.9
20/04/2016 15:00	8.8
20/04/2016 16:00	8.4

20/04/2016 17:00	7.8
20/04/2016 18:00	7.3
20/04/2016 19:00	6.8
20/04/2016 20:00	7.1
20/04/2016 21:00	8.4

Tabla 5. Datos del día 20 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

MEDIA	8.5136364
MODA	8.8
MEDIANA	8.8
VARIANZA	0.4450433

Tabla 6. Análisis de variables del día 20 de abril del año 2016.

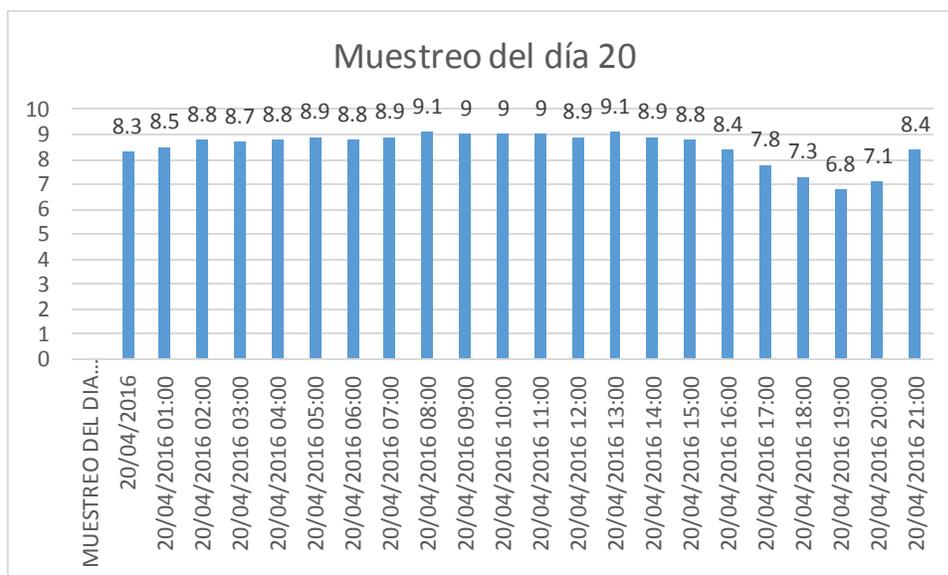


Figura 5. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2016.

MUESTREO # 4

MUESTREO DEL DÍA 25 DE ABRIL DE 2016.	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)

25/04/2016	9.5
25/04/2016 01:00	9.1
25/04/2016 02:00	9.5
25/04/2016 03:00	9.6
25/04/2016 04:00	9.4
25/04/2016 05:00	10.5
25/04/2016 06:00	10.7
25/04/2016 07:00	10
25/04/2016 08:00	9.5
25/04/2016 09:00	9.8
25/04/2016 10:00	9.6
25/04/2016 11:00	11.1
25/04/2016 12:00	11.1
25/04/2016 13:00	9.8
25/04/2016 14:00	10.4
25/04/2016 15:00	10.5
25/04/2016 16:00	11
25/04/2016 17:00	10.5
25/04/2016 18:00	9.8
25/04/2016 19:00	8.2
25/04/2016 20:00	7.1
25/04/2016 21:00	8
25/04/2016 22:00	8.6
25/04/2016 23:00	9

Tabla 7. Datos del día 25 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

MEDIA	9.679167
MODA	9.5
MEDIANA	9.7
VARIANZA	1.013895

Tabla 8. Análisis de variables del día 25 de abril del año 2016.

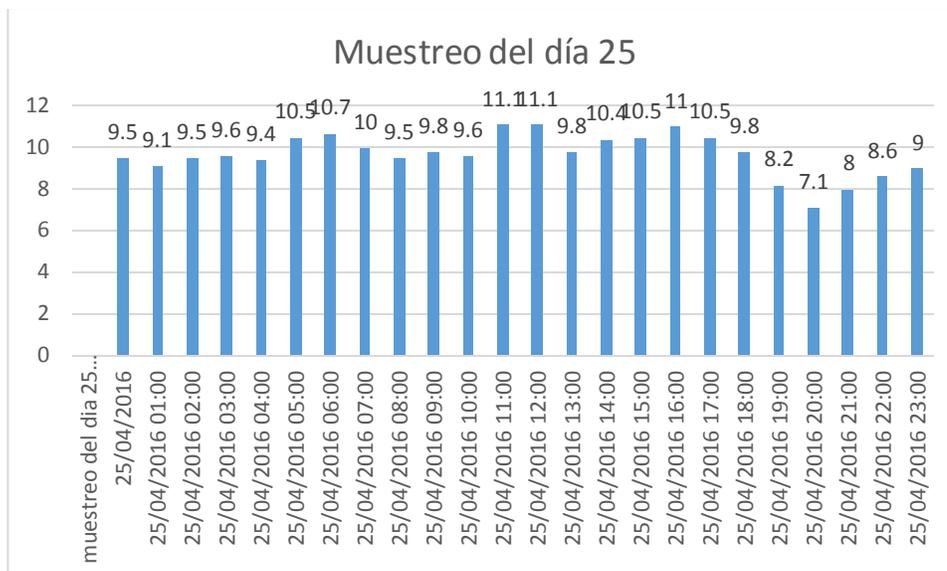


Figura 6. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2016.

MUESTREO # 1 DEL AÑO 2017

MUESTRAS DEL DÍA 6 DE ABRIL DEL AÑO 2017	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
06/04/2017 00:01	1.1
06/04/2017 00:02	0.3
06/04/2017 00:03	0.2
06/04/2017 00:04	0.2
06/04/2017 00:05	0.4
06/04/2017 00:06	0.6
06/04/2017 00:07	0.7
06/04/2017 00:08	0.1
06/04/2017 00:09	1.2
06/04/2017 00:10	0.8
06/04/2017 00:11	0.5
06/04/2017 00:12	0.9
06/04/2017 00:13	1.1
06/04/2017 00:14	0.8
06/04/2017 00:15	0.6
06/04/2017 00:16	0.7
06/04/2017 00:17	0.6

06/04/2017 00:18	0.8
06/04/2017 00:19	0.6
06/04/2017 00:20	0.7
06/04/2017 00:21	0.6
06/04/2017 00:22	0.6
06/04/2017 00:23	0.6

Tabla 9. Datos del día 6 de abril, tomados de la caseta ubicada en la colonia Campestre de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo.

DÍA 6	
MEDIA	0.639130435
MODA	0.6
MEDIANA	0.6
VARIANZA	0.080671937

Tabla 10. Análisis de variables del día 6 de abril del año 2017.

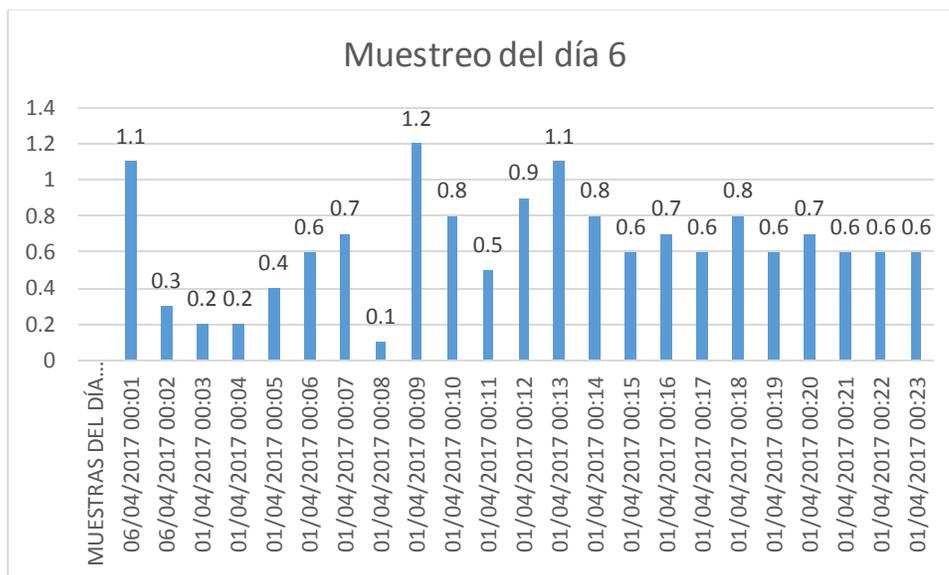


Figura 7. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 6 del mes de abril del año 2017.

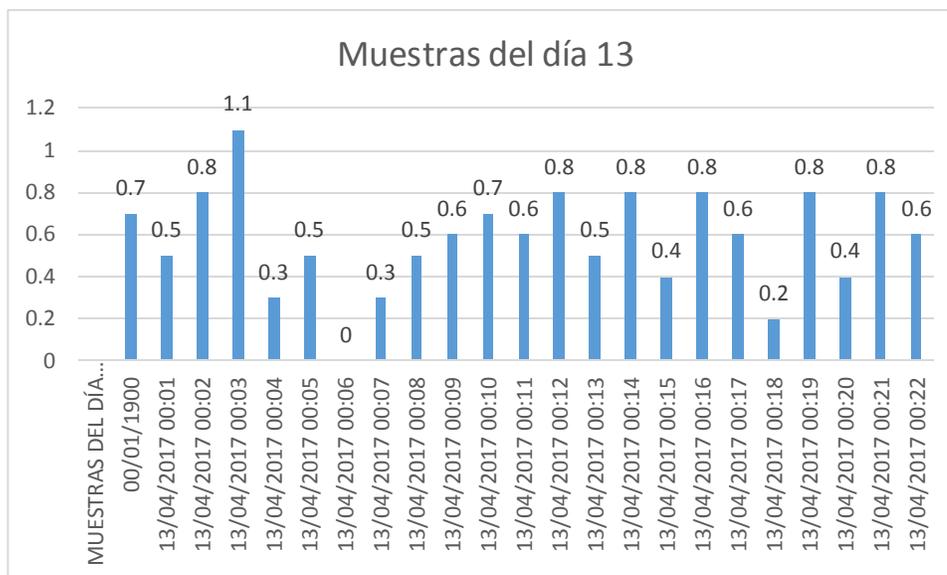
MUESTRA # 2

MUESTRAS DEL DÍA 13 DE ABRIL DEL 2017	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
00/01/1900	0.7
13/04/2017 00:01	0.5
13/04/2017 00:02	0.8
13/04/2017 00:03	1.1
13/04/2017 00:04	0.3
13/04/2017 00:05	0.5
13/04/2017 00:06	0
13/04/2017 00:07	0.3
13/04/2017 00:08	0.5
13/04/2017 00:09	0.6
13/04/2017 00:10	0.7
13/04/2017 00:11	0.6
13/04/2017 00:12	0.8
13/04/2017 00:13	0.5
13/04/2017 00:14	0.8
13/04/2017 00:15	0.4
13/04/2017 00:16	0.8
13/04/2017 00:17	0.6
13/04/2017 00:18	0.2
13/04/2017 00:19	0.8
13/04/2017 00:20	0.4
13/04/2017 00:21	0.8
13/04/2017 00:22	0.6

Tabla 11. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2017.

DÍA 13	
MEDIA	0.57826087
MODA	0.8
MEDIANA	0.6
VARIANZA	0.059960474

Tabla 12. Análisis de variables del día 13 de abril del año 2017

Figura 8. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 13 del mes de abril del año 2017.**MUESTRA # 3**

MUESTRAS DEL DÍA 20 DE ABRIL DEL 2017	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
20/04/2017 20:02	0.6
20/04/2017 20:03	0.7
20/04/2017 20:04	0.6
20/04/2017 20:05	0.5
20/04/2017 20:06	0.4
20/04/2017 20:07	0
20/04/2017 20:08	0.4
20/04/2017 20:09	0
20/04/2017 20:10	0.4
20/04/2017 20:11	0.9
20/04/2017 20:12	0.3
20/04/2017 20:13	0.4
20/04/2017 20:14	0.7

20/04/2017 20:15	0.6
20/04/2017 20:16	0.2
20/04/2017 20:17	0.2
20/04/2017 20:18	0.2
20/04/2017 20:19	0.4
20/04/2017 20:20	0
20/04/2017 20:21	0.3
20/04/2017 20:22	0.9
20/04/2017 20:23	0.7
20/04/2017 20:24	0.7

Tabla 13. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2017.

DÍA 20	
MEDIA	0.439130435
MODA	0.4
MEDIANA	0.4
VARIANZA	0.071581028

Tabla 14. Análisis de variables del día 20 de abril del año 2017.

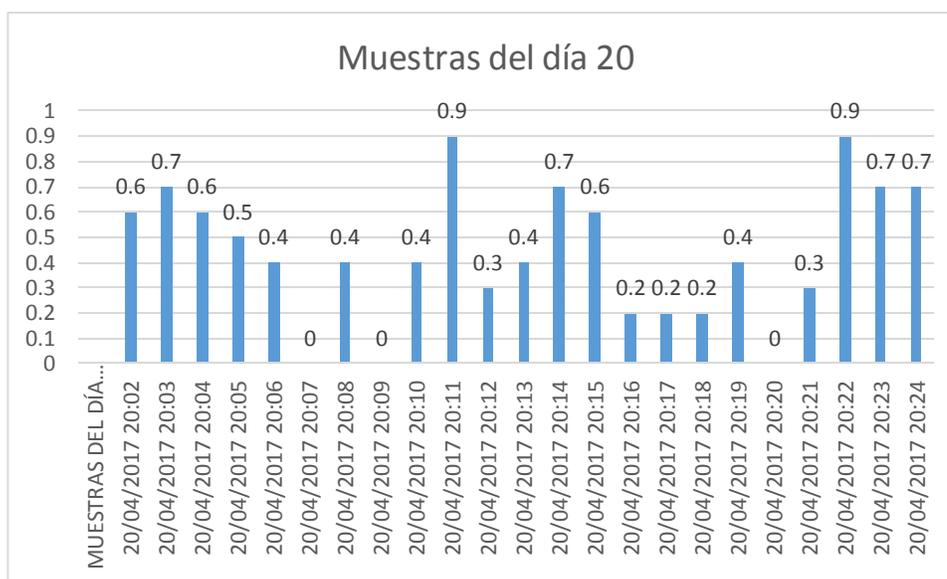


Figura 9. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia el Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 20 del mes de abril del año 2017.

MUESTRA # 4

MUESTRAS DEL DÍA 25 DE ABRIL DEL 2017	
Fechas	Concentración del SO ₂ (ppm)
25/04/2017 03:12	-0.4
25/04/2017 03:13	-0.3
25/04/2017 03:14	-0.2
25/04/2017 03:15	-0.3
25/04/2017 03:16	0.5
25/04/2017 03:17	0.3
25/04/2017 03:18	0.2
25/04/2017 03:19	0.6
25/04/2017 03:20	0
25/04/2017 03:21	0.7
25/04/2017 03:22	0.3
25/04/2017 03:23	0.1
25/04/2017 03:24	0
25/04/2017 03:25	-0.1
25/04/2017 03:26	0
25/04/2017 03:27	0.4
25/04/2017 03:28	0.7
25/04/2017 03:29	1
25/04/2017 03:30	0.6
25/04/2017 03:31	0.8
25/04/2017 03:32	0.7
25/04/2017 03:33	0.3
25/04/2017 03:34	0.2

Tabla 15. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2017.

DÍA 25	
MEDIA	0.265217391
MODA	0.3
MEDIANA	0.3
VARIANZA	0.153280632

Tabla 16. Análisis de variables del día 25 de abril del año 2017.

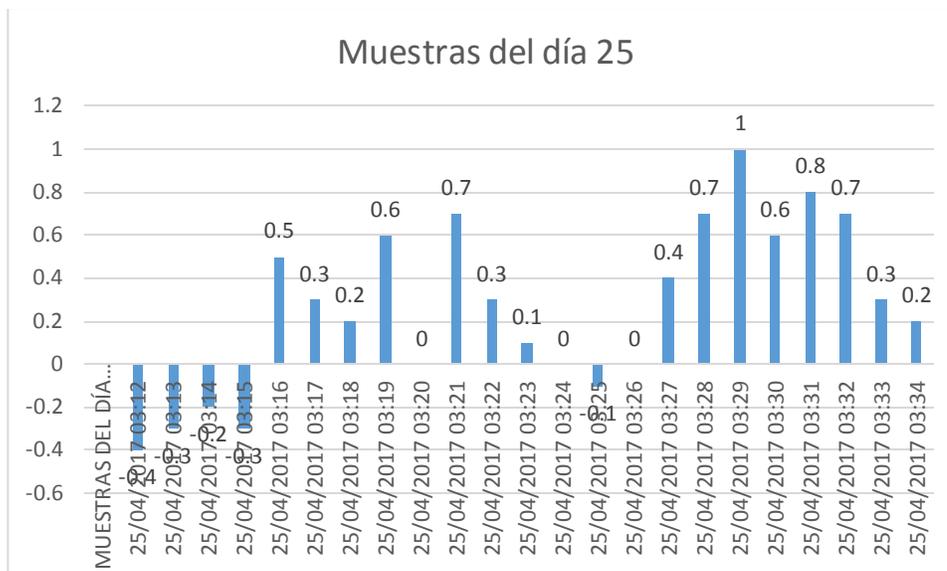


Figura 10. Concentración de SO₂ (ppm) de la caseta de la colonia Campestre ubicada en la ciudad de Gómez Palacio del día 25 del mes de abril del año 2017.

DISCUSIÓN

De acuerdo a la hipótesis establecida la cual me señala lo siguiente: **Comprobar si existe aumento del nivel de concentración en la atmosfera urbana de la ciudad de Gómez Palacio, del contaminante denominado dióxido de azufre, por las actividades industriales.**

Comparando los resultados obtenidos, con la hipótesis planteada, se concluye que en entre los años 2016 y 2017 correspondientes al mes de abril de esos años, donde se analizaron cuatro fechas diferentes, los resultados me indican que la hipótesis no se cumple, lo anterior en virtud de que existe un decremento en la concentración del contaminante estudiado.

En una de las fechas analizadas, 25 de abril del año 2016 haciendo la comparación de la media con la media del año 2017, existe una diferencia de negativa de 9.41 ppm de dióxido de azufre en la atmósfera. Ya que el año de 2016 presenta una mayor concentración de dicho contaminante que en el mismo periodo que del año 2017.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a las tablas de resultados obtenidas, se determina que existe concentración de dióxido de azufre en las zonas aledañas de la colonia el Campestre, Gómez Palacio, pudiendo esto originar un problema medio ambiental y de salud, ya que el SO_2 , es causante daños a la salud.

Se conoce que el punto evaluado se ubica dentro de la mancha urbana, de la ciudad de Gómez Palacio, la cual cada día crece tanto por el incremento de las actividades industriales, así como por el incremento de la población y consecuentemente un probable aumento del parque vehicular, lo que contribuye a un aumento de la emisión de dióxido de azufre, y que por consiguiente la probabilidad de provocar enfermedades.

Se recomienda que para futuros estudios que evalúen la contaminación atmosférica, se tomen con consideración y se analice las diferentes variables climatológicas, como: Velocidad y dirección del viento, temperaturas en la región, precipitaciones pluviales. Ya que dichas variables atmosféricas pueden ayudar a la disminución o incremento del dióxido de azufre que respira la población urbana de la ciudad de Gómez Palacio. En la siguiente tabla se puede observar el comparativo de la variable estadística consistente en la media de los cuatro días seleccionados al azar del mes de abril de los años 2016 y 2017. Por lo anterior, se puede apreciar que en el año 2017 hubo una menor concentración de dióxido de azufre en comparación con el año 2016, en cual se puede observar que la concentración del contaminante estudiado, fue mayor en ese año.

MEDIA	AÑO 2016	AÑO 2017	DIFERENCIA
6 DE ABRIL	8.48 ppm	0.63 ppm	-7.85 ppm
13 DE ABRIL	6.27 ppm	0.57 ppm	-5.7 ppm
20 DE ABRIL	8.51 ppm	0.43 ppm	-8.08 ppm
25 DE ABRIL	9.67 ppm	0.26 ppm	-9.41 ppm

Tabla 17. Tabla comparativa de las cuatro muestras medidos de la media para obtener la diferencia entre el año 2016 y 2017.

VII. LITERATURA CITADA

- Anda, A. 2014. "The creation of pollution mapping and measurement of ambient concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide with passive sampler." *Journal of Environmental Health Science Y Engineering* 12: 2-9.
- Ando, R. A., J. A. S. Leonardo, C. B. Fernanda, M. T. Roberto y P. S. Santos 2007. "The Sulfur Dioxide-1-Butyl-3-Methylimidazolium Bromide Interaction: Drastic Changes in Structural and Physical Properties." *The Journal of Physical Chemistry* 111: 8717-8719.
- Andres, D. A., E. J. Ferrero y C. E. Mackler 1997. "Monitoreo de contaminantes del aire en la Ciudad de Rosario-Argentina." *Información Tecnológica* 8: 011-.
- Aránguez, E., J. M. Ordóñez, J. Serrano, N. Aragonés, R. Fernández-Patier, A. Gandarillas y I. Galán 1999. "Atmospheric pollutants and their monitoring." *Journal Environmental* 73: 123-132.
- Arnedo-Pena, A., L. García-Marcos, I. Carvajal-Urueña, R. Busquets-Monge, M. M. Suárez-Varela, I. Miner-Canflanca, J. Batles-Garrido, A. Blanco-Quirós, Á. V. López-Silvarrey, G. García-Hernández, I. Aguinaga-Ontoso y C. González-Díaz 2009. "Contaminación del aire y síntomas recientes de asma, rinitis alérgica y eccema atópico en escolares de 6 y 7 años." *Arch Bronconeumol* 45: 224-229.
- Ballester, F. 2005. "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. Análisis de la calidad del aire atmosférico." *Rev Esp Salud Pública* 79: 159-175.
- Barcelona-Cazanave, L., R. López-Lee, M. Martínez-Varona, S. F. Pire-Rivas, A. Hernández-Garcés, L. F. Cuesta-Cedeño y G. Pérez 2015. "Calidad del aire en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría por partículas e inmisiones de NO₂ y SO₂." *UCE Ciencia. Revista de postgrado* 3: 1-20.
- Barrón-Adame, J. M. 2010. "Modelado de un sistema de supervisión de la calidad del aire usando técnicas de fusión de sensores y redes neuronales." *Journal Environmental*: 3-152.
- Burstyn, I., A. Senthilselvan, K. Hyang-Mi, N. M. Cherry, E. Pietroniro y C. Waldner 2007. "Industrial Sources Influence Air Concentrations of Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide in Rural Areas of Western Canada." *Journal of the Air & Waste Management Association* 57: 1241-1250.
- Burtraw, D. y E. Mansur 2017. "Environmental Effects of SO₂ Trading and Banking." *Journal Environmental* 33: 3489-3494.
- Cañada-Torrecilla, R. 2005. "Atmósfera." *Ecological Economics*: 192-256.
- Carnicer, J. M. 2007. "Contaminación Atmosférica." *Master de Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2006/2007*: 001-174.
- Coetzee, C., K. Lisjak, L. Nicolau, P. Kilmartin y W. J. Du Toit 2013. "Oxygen and sulfur dioxide additions to Sauvignon blanc must: effect on must and wine composition." *Flavour and Fragrance Journal* 28: 155-167.
- Chan-Chiung, L., W. Yao-Nan, F. Lung-Ming y Y. Dong-Yu 2017. "Rapid Integrated Microfluidic Paper-Based System for Sulfur Dioxide Detection." *Chemical Engineering Journal*: 1-33.

- Chase, C., G. Cui, W. Jun, A. Mark y Y. Kai 2016. "Effects of meteorological conditions on sulfur dioxide air pollution in the North China plain during winters of 2006-2015." *Atmospheric Environment* 147: 296-309.
- Chaudhary, V. y A. Kaur 2015. "Solitary surfactant assisted morphology dependent chemiresistive polyaniline sensors for room temperature monitoring of low parts per million sulfur dioxide." *Society of Chemical Industry* 64: 1475-1481.
- Chica-Segovia, F., F. Espinoza-Molina y N. Rivera-Campoverde 2001. "Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diesel con la finalidad de reducir la contaminación del aire " *Revista de Ciencia y Tecnología*: 73-81.
- Daniellys-Alejo, M. C. Morales, J. B. d. I. Torre, Ricardo-Grau, László-Bencs, V.-G. René, V.-E. Piet, Dismey-Sosa y Vladimir-Nuñez 2013. "Seasonal trends of atmospheric nitrogen dioxide and sulfur dioxide over North Santa Clara, Cuba
" *Environ Monit Assess* 185: 6023-6033.
- Dongzhi, Z., L. Jingjing, J. Chuanxing, L. Peng y S. Yan'e 2017. "High-performance sulfur dioxide sensing properties of layer-by-layer self-assembled titania-modified graphene hybrid nanocomposite." *Sensors and Actuators B: Chemical* 245: 560-567.
- Duan, Y., L. Duan, J. A. Edward y C. Zhao 2017. "Nitrogen and sulfur conversion during pressurized pyrolysis under CO₂ atmosphere in fluidized bed." *Journal Homepage* 189: 98-106.
- EPA 2004. "Sulfur Dioxide (SO₂) Pollution (en línea)." Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#reduce> (fecha de consulta 03/Jun/2017).
- Fonseca-Hernandez, M. 2013. "Estudio de impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de Pinar del río." *Revista Brasileña de Meteorología* 28: 01-12.
- Gaitán, M., J. Cancino y E. Behrentz 2007. "Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá." *Revista de Ingeniería* 81-92.
- García-Mario, G., S. Ramírez-Hermes, G. Ulloa-Héctor, G. García-Omar, P. Meulener-Ángel y G. Alcalá-Jaime 2013. "Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄⁻² y NO₃⁻ durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México." *Rev Chil Enf Respir* 29: 81-88.
- García, C., A. Machado, N. García, C. Cárdenas, W. González, J. Martínez y S. Yabroudi 2003. "Comparative evaluation of SO₂ in less favorable wind direction from a thermal power plant." *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* 26.
- García v, J. 1977. "Efecto del dióxido de azufre (SO₂) sobre plantas jóvenes de *Phaseolus Vulgaris*, L. Var. Jamapa." *Revista de Facultad de Agronomía* 4: 39-52.
- Gholamreza, G., G. Sahar, Esmaeil-Idani, H. Seyyed-Ahmad, B. Mohammad-Mehdi, Y. Ahmad-Reza, Mehdi-Vosoughi, D. Sina, S. Saeed, M. Mohammad-Bagherian, G. Ali, Nadali-Alavi, A. Seyedeh-Shaghayegh y M.

- Mohammad-Javad 2016. "An evaluation of hospital admission respiratory disease attributed to sulfur dioxide ambient concentration in Ahvaz from 2011 through 2013." *Environ Sci Pollut Res* 23: 22001-22007.
- Jacek, K. 2017. "Ab Initio Potential Energy Surface and Vibration-Rotation Energy Levels of Sulfur Dioxide." *Journal Of Computacional Chemistry*: 1-9.
- Jafar-Ghani, M. 2017. "Recovery of sulfur dioxide from gas mixture in packed bed column." *International Journal Of Energy and Environment* 8.
- Jafar, G. M. 2017. "Recovery of sulfur dioxide from gas mixture in packed bed column." *International Journal of Energy and Environment* 8: 73-82.
- Jordi-Sunyer, Ferran-Ballester, A. L. Tertre, Richard-Atkinson, J. G. Ayres, Francesco-Forastiere, Bertil-Forsberg, J. M. Vonk, Luigi-Bisanti, J. M. Tenías, Sylvia-Medina, Joel-Schwartz y Klea-Katsouyanni 2003. "The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The Aphea-II study)." *European Heart Journal* 24: 752-760.
- Kampa-Marilena y Castanas-Elias 2008. "Human health effects of air pollution." *Environmental Pollution* 151: 362-367.
- Lin, W., Z. Yungang, Z. Xue, Q. Feng y Z. Zhiguo 2017. "Optical sulfur dioxide sensor based on broadband absorption spectroscopy in the wavelength range of 198-222 nm." *Sensors and Actuators B: Chemical*: 146-150.
- López, G. B. y I. Flores 2007. "Relación del dióxido de azufre (SO₂) y la afluencia de enfermedades de las vías respiratorias (en línea)." *Revista Ciencias* <http://www.revistaciencias.com/> (fecha de consulta 29/mayo/2017).
- Luis, P., A. Garea y A. Irabien 2008. "Sulfur dioxide non-dispersive absorption in N,N-dimethylaniline using a ceramic membrane contactor." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 83: 1570-1577.
- Mahapatra, A. D. y R. Toolseeram 2011. "Prediction of Ground-Level Concentration of Sulfur Dioxide Downwind of an Industrial Estate in Mauritius Using the ISCST3 Model and Selection of Air Pollution Control Systems
- " *Water Air Soil Pollut* 219: 203-213.
- Mariusz, M., B. Michalina, S. Vasil, N. Jacek y Z. Bożena 2016. "The effect of anthropogenic activity on BTEX, NO₂, SO₂, and CO concentrations in urban air of the spa city of Sopot and medium- industrialized city of Tczew located in North Poland." *Environmental Research* 147: 513-524.
- Matus, P. y L. Rodrigo 2002. "Norma primaria de calidad del aire." *revista chilena de enfermedades respiratorias* 18.
- Meena, V.-K., D. Yogpal, S. R. Deepak, C. P. S. Chandel y K. S. Gupt 2017. "Inhibition of Aqueated Sulfur Dioxide Autoxidation by Aliphatic, Acyclic, Aromatic, and Heterocyclic Volatile Organic Compounds." *International journal of Chemical Kinetics* 3: 1-13.
- Molina-Jiménez, P. 2013. "Simulación numérica de un problema de contaminación atmosférica." *Universidad Politécnica de Madrid* 001-284.
- Monfort, E., S. Gomar, I. Celades, P. Gomez, E. Moro y E. Márquez 2010. "Reducción de las emisiones de azufre de un horno túnel " *Boletin de la Sociedad Española de Cerámica y vidrio* 49: 343-350.

- Moreno-Jiménez, A. y R. Cañada-Torrecilla 2007. "Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica." Boletín de la A.G.E.: 301-324.
- Müller, U. 2008. "The mineralogical composition of sandstone and its effect on sulphur dioxide deposition." Journal of Chemical Technology and Biotechnology 58: 81-95.
- Nava, M. M., J. L. Bravo y J. R. Gasca 2003. "Loa métodos multivariados para evaluar el efecto de la reducción de azufre en petrolíferos sobre los niveles de Bióxido de azufre atmosférico." Rev. Int. Contam. Ambient. 19: 25-36.
- NOM 1993a. "NOM-038-SEMARNAT-1993 (en línea)." SEMARNAT: <http://sigajalisco.gob.mx/assets/documentos/normatividad/nom038semarnat1993.htm> (fecha de consulta 28/mayo/2017).
- NOM 1993b. "NOM-CCAM-002-ECOL/1993 (en línea)." SEGOB: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69247.pdf> (fecha de consulta 04/junio/2017).
- NOM 2010. "NOM-022-SSA1-2010 (en línea)." NORMAS OFICIALES: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4149/salud1/salud1.htm> (fecha de consulta 27/mayo/2017).
- NOM 2012. "NOM-085-SEMARNAT-1994 (en línea)." SEMARNAT: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2739.pdf> (fecha de consulta 27/mayo/2017).
- P.M., G.-G. y S. d. L. R. M.S 2003. "Mortality associated with atmospheric pollution by SO₂. A medical legal case of autopsy after an episode of atmospheric pollution." Journal Environmental 33: 43-56.
- Pinkerton, J. E. 2007. "Sulfur Dioxide and Nitrogen Oxides Emissions from U.S. Pulp and Paper Mills, 1980–2005." Journal of the Air & Waste Management Association 57: 901-906.
- Pisano, J. T., C. G. Sauer, J. Robbins, J. W. Miller, H. Gamble y T. D. Durbin 2003. "A UV differential optical absorption spectrometer for the measurement of sulfur dioxide emissions from vehicles." MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY 14: 2089-2095.
- Rodríguez-Acosta, C., I. Cambeiro-Novo, R. Fernández-Rodríguez, G. Olovarrieta, C.-G. M. d. P. y C. Sardiñas-González 2006. "Incorporación de azufre a los fertilizantes. situación actual y perspectivas." Revista Cubana de Química 18: 52-59.
- Romero-Placeres, M., F. Diego-Olite y M. Álvarez-Toste 2006. "Air pollution: its repercussion as a health problem." Ecological Economics 44: 1-14.
- Rómulo, A. A., J. A. S. Leonardo, C. BautizoFernanda, M. T. Roberto y S. S. Paulo 2017. "The Sulfur Dioxide-1-Butyl-3-Methylimidazolium Bromide Interaction: Drastic Changes in Structural and Physical Properties." The Journal of Physical Chemistry 111: 8717-8719.
- Salazar-Peralta, A., R. H. Chávez-Torres y J. A. Pichardo-Salazar 2016. "Estudio de las causas y efectos de la contaminación del aire, una responsabilidad social." Estudios Interdisciplinarios de la Organización 28-48.
- Sanitarios, C. F. p. I. P. c. R. 2016. "Efectos a la salud por la contaminación del aire ambiente (en línea)." COFEPRIS:

<http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente> (fecha de consulta 25/mayo/2017).

- Sellitto-Pasquale, Zanetel-Claudia, A. Sarra-di, Salerno-Giuseppe, Tapparo-Andrea, Meloni-Daniela, Pace-Giandomenico, Caltabiano-Tommaso, Briole-Pierre y Legras-Bernard 2017. "The impact of mount etna sulfur emissions on the atmospheric composition and aerosol properties in the central mediterranean: A statistical analysis over the period 2000-2013 based on observations and lagrangian modelling." *Atmospheric Environment* 148: 77-88.
- Shuhua, M., W. Zongguo y C. Jining 2011. "Scenario Analysis of Sulfur Dioxide Emissions Reduction Potential in China's Iron and Steel Industry." *Journal of Industrial Ecology*: 01-12.
- Spedding, D. J. 2002. "Contaminación atmosférica." Editorial Reverte, S. A. : 01-51.
- Theys, N., D. I. Smedt, H. Yu, T. Danckaert, J. Gent-Van, C. Hörmann, T. Wagner, P. Hedelt, H. Bauer, F. Romahn, M. Pedernana, Loyola-Diego y M. Roozendaal-Van 2017. "Sulfur dioxide retrievals from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor: algorithm the oretical basis." *Atmospheric Measurement Techniques* 10: 119-154.
- Uribazo-Díaz, P. C., D. Tito-Ferro y J. O. Ochoa-Estévez 2006. "Influencia de las calderas sobre el medio ambiente." *Journal Environmental*: 1-13.
- Vimlesh-Kumar, M., D. Yogpal, R. Deepak-Singh, C. P. Singh-Chandel y G. K. S. 2016. "Inhibition of Aquated Sulfur Dioxide Autoxidation by Aliphatic, Acyclic, Aromatic, and Heterocyclic Volatile Organic Compounds." *International journal of Chemical Kinetics*: 222-233.
- Wang, H. S., Y. G. Zhang, S. H. Wu, X. T. Lou, Z. G. Zhang y Y. K. Qin 2010. "Using broadband absorption spectroscopy to measure concentration of sulfur dioxide." *Applied Physics B Laser and Optics* 100: 637-641.
- Wark, K. y C. F. Warner 1994. "Contaminación del aire." Origen y Control Editor Universidad de Purdue: 005-650.
- Yassi, A., T. Kjellström, T. d. Kok y L. G. Tee 2002. "Basic environmental health." *Journal Of Computacional Chemistry* 3: 5-539.
- Zhang, D., L. Jingjing, C. Jiang, P. Li y S. Yane 2017. "High-performance sulfur dioxide sensing properties of layer-by-layer self-assembled titania-modified graphene hybrid nanocomposite." *Sensors and Actuators B: Chemical*: 560-567.