

**VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DURANTE EL PERIODO 2016 - 2021, EN EL
ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA MICROCUENCA “*QUEBRADA LA
NUTRIA*” EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

Alexander Stalin González Rodríguez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D. C.
2021

**VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DURANTE EL PERIODO 2016 - 2021, EN EL
ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA MICROCUENCA “QUEBRADA LA
NUTRIA” EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de
Cuencas Hidrográficas

Alexander Stalin González Rodríguez

Director (a)

Elizabeth Carvajal Flórez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D. C.

2021

Tabla de contenido

Introducción.....	10
Formulación del problema.....	12
Pregunta problema	13
Justificación.....	14
Antecedentes.....	16
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos	20
Marco teórico.....	21
Aire	21
Componentes del aire.....	21
Calidad del aire	22
Contaminación atmosférica	22
Efectos en la salud	23
Sistemas de vigilancia de la calidad del aire	24
SVCA manuales.....	24
SVCA automáticos.....	24
Planes de gestión de la calidad del aire.....	26
Índice de calidad del aire (ICA).....	29
La calidad del aire a nivel mundial	30
Escala global	31
Escala media	31
La microescala.....	32

Calidad del aire en Bogotá.....	32
Fuentes de emisión que impactan negativamente la calidad del aire.....	33
Marco legal.....	35
Metodología.....	39
Desarrollo metodológico	41
Levantamiento de la información	41
Localización espacial.....	41
Resultados.....	50
Análisis de resultados	62
Discusión	72
Conclusiones.....	74
Referencias bibliográficas	76

Índice de tablas

Tabla 1. Medición de hora a hora	51
Tabla 2. Temperatura máxima y mínima de San Cristóbal 2022	54
Tabla 3. Viento máximo y mínimo de San Cristóbal 2022	56
Tabla 4. Energía solar de San Cristóbal 2022.....	58
Tabla 5. Precipitación de San Cristóbal 2022.....	60
Tabla 5. Histórico del Promedio de los Contaminantes Analizados.....	62
Tabla 6. Análisis de Radiación Solar con PM10 y el PM2.5	65
Tabla 7. Análisis de Temperatura con PM10 y el PM2.5	66
Tabla 8. Análisis de Precipitación con PM10 y el PM2.5.....	67
Tabla 9. Análisis de Humedad Relativa con PM10 y el PM2.5	68
Tabla 10. Análisis de Velocidad del Viento con PM10 y el PM2.5.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo de los contaminantes del aire.....	23
Figura 2. Etapas de un SVCA manual.....	24
Figura 3. Proceso de operación de un SVCA automático.....	25
Figura 4. Etapas del proceso de operación SVCA híbrido.....	25
Figura 5. Tipos de SVCA según su tecnología.....	26
Figura 6. Etapas involucradas en el PGCA.....	27
Figura 7. Herramientas del PGCA.....	28
Figura 8. Descripción del índice de calidad del aire.....	30
Figura 9. Emisiones a la atmósfera. Por los diferentes sectores.....	33
Figura 10. Costos asociados a la contaminación del aire por PM y O ₃	34
Figura 11. Medidas para mitigar el impacto a corto, mediano y largo plazo.....	34
Figura 12. Proceso de investigación mixta.....	39
Figura 13. Localización del proyecto.....	42
Figura 14. Aspecto del contacto de arcillolitas y areniscas.....	43
Figura 15. Aspecto del empacamiento de capas de areniscas y de las intercalaciones con lodolitas.....	43
Figura 16. <i>Espetiopsis corymbosa</i> , especie propia de ecosistemas, altoandinos presente en los matorrales abiertos del área de estudio.....	44
Figura 17. Sector de bosque. Ripario dominado por pasto kikuyu.....	44
Figura 18. Mapa de la Red hidrográfica de la zona.....	45
Figura 19. Mapa de registro de precipitaciones.....	46
Figura 20. Mapa presión atmosférica.....	47
Figura 21. Mapa de relieve de la zona.....	48

Figura 22. Coordenadas de la estación de la calidad del aire	50
Figura 23. Temperatura de San Cristóbal	53
Figura 24. Análisis de la temperatura máxima y mínima de San Cristóbal 2022	54
Figura 25. Análisis de la humedad de San Cristóbal 2022	56
Figura 26. Análisis del viento de San Cristóbal 2022.....	56
Figura 27. Análisis de la dirección del viento de San Cristóbal 2022	58
Figura 28. Análisis de la energía solar de San Cristóbal 2022	59
Figura 29. Análisis del clima de San Cristóbal 2022.....	60
Figura 30. Análisis de las precipitaciones de San Cristóbal 2022	61

Resumen

La contaminación generada por la intervención humana en las cabeceras de los afluentes acuíferos es un problema vigente en ciudades como Bogotá, que experimenta un crecimiento demográfico y poblacional desafiante para las normas urbanísticas. La Quebrada La Nutria es una microcuenca que afecta la calidad del agua aumenta las concentraciones de gases. Dentro del marco legislativo colombiano, se destaca la protección del aire y la obligación de las empresas e instituciones que afecten este recurso de realizar caracterizaciones para evaluar su estado y compensar o mitigar los impactos ambientales. El propósito central de esta investigación radica en examinar lo que es variación y calidad del aire en la microcuenca "Quebrada La Nutria" durante el periodo 2016-2021, enfocándose en las variables meteorológicas y su incidencia. La metodología utilizada es mixta y exploratoria, incluyendo análisis de datos sobre la calidad del aire, revisión bibliográfica, consulta de informes sobre la calidad del aire en años anteriores. Los resultados muestran una caracterización estadística que corresponde a una variación de la calidad del aire de la microcuenca durante el periodo estudiado, considerando las estaciones meteorológicas en San Cristóbal. Las conclusiones señalan la necesidad en cuanto a la adopción medidas radicales para reducir la actividad humana que genera contaminación, mejorar los sistemas de transporte, implementar sistemas de purificación y filtración del aire, trazar un plan de acción que permita la prevención de los contaminantes en el río.

Palabras clave: Microcuenca, calidad, aire, contaminación y protección.

Abstract

The pollution generated by human intervention in the headwaters of aquifer tributaries is a current problem in cities such as Bogotá, which experiences demographic and population growth that defies urban regulations. The Quebrada La Nutria is a micro-basin that affects water quality by increasing gas concentrations. Within the Colombian legislative framework, air protection and the obligation of companies and institutions that affect this resource to perform characterizations to evaluate its status and compensate or mitigate environmental impacts are highlighted. The central purpose of this research is to examine what is variation and air quality in the micro-basin "Quebrada La Nutria" during the period 2016-2021, focusing on meteorological variables and their incidence. The methodology used is mixed and exploratory, including analysis of data on air quality, literature review, consultation of reports on air quality in previous years. The results show a statistical characterization that corresponds to a variation of the air quality of the micro-basin during the period studied, considering the meteorological stations in San Cristóbal. The conclusions point to the need to adopt radical measures to reduce human activity that generates pollution, improve transport systems, implement air purification and filtration systems, draw up an action plan that allows the prevention of pollutants in the river.

Keywords: Micro-watershed, quality, air, pollution and protection.

Introducción

La contaminación que se genera por la intervención humana en las cabeceras de los distintos afluentes acuíferos es un problema que no deja de tener vigencia más aún en ciudades capitales como Bogotá, que muestra cada día un gran crecimiento demográfico y poblacional que no siempre cumplen con las normas urbanísticas.

Este trabajo se enfoca en el análisis de la contaminación ambiental que se generó entre del 2016 al 2021, en la micro cuenca de la *Quebrada La Nutria* en la ciudad, haciendo énfasis con respecto a lo importante que es fomentar buenas prácticas humanas que contribuyan a la atención del bienestar del entorno ambiental que corresponde a la disminución en cuanto a los niveles de contaminación; siendo un tópico de relevancia que genera gran, debido a la cercanía de la residencia de los investigadores con la *Quebrada La Nutria*, siendo testigos y víctimas de los niveles de contaminación ambiental que se han producido en el lugar por lo tanto, se promueve la toma de conciencia entre la población, buscando mediante un el trabajo colectivo la garantía de alcanzar el desarrollo sostenible del país.

Por otro lado, se aplica una metodología de carácter mixto desde un enfoque exploratorio que permite analizar la contextualización con respecto a los datos que se presentan frente a la calidad del aire, obteniendo así una caracterización exhaustiva sobre la medición y el impacto que este tiene en la población de la microcuenca “Quebrada La Nutria”, se utiliza una revisión bibliográfica como medio para establecer mediante diferentes fuente como revistas, estudios, tesis, artículos científicos, etc., el aval de la importancia, también se toma en consideración los informes del estado de los últimos años.

Según el IDEAM, es el acrónimo para referirse al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, el mayor contaminante a nivel nacional es material particulado menor que corresponde a tener una medida de 2.5 micras (PM2.5), el cual se construye de micropartículas que su mayor producción tiene lugar en los vehículos pesados que utilizan como combustible el diésel, debido a que estos deben transportar materiales de carácter peligroso para el contacto con los individuos o metales pesados que pueden ser elementos orgánicos que afectan a los humanos.

Los datos anteriores exponen la importancia en cuanto a la disminución de las elevaciones de contaminantes enfocado en su impacto negativo en el entorno ambiental y de los individuos, por lo que la pertinencia de estudios como este no solo se reduce al cumplimiento de requisitos académicos, sino que promueve un ejercicio de reflexión para los investigadores y el lector. En ese orden de ideas, este trabajo se plantea el propósito basado en la determinación de la variación y el atributo del aire correspondiente al área que tiene influencia directa de la microcuenca “Quebrada La Nutria” durante el periodo 2016 a 2021.

Los temas que se tratan a lo largo del trabajo están relacionados con el tema central, aportando datos sobre la Quebrada La Nutria, definiendo y presentando información sobre la contaminación ambiental, sus efectos en lo económico, social y el bienestar de los individuos, así como la relación que tiene este con los procedimientos de monitoreo que se implementan en este país que permiten el diagnóstico y la medición de la propiedad que cuenta el aire, presentando también algunos planes que se han desarrollado en aras de minimizar los índices de contaminación ambiental.

Planteamiento del problema

La Quebrada La Nutria es una microcuenca que desemboca de *La Quebrada Chiganza*, la cual tiene origen en los cerros de San Cristóbal ubicados en la capital, cabe destacar que flora es abundante debido a que allí se encuentra el parque ecológico que está rodeada por los barrios residenciales, con respecto a sus características se destaca el color oscuro del agua y el mal olor, producto del proceso de descomposición de los residuos, que incrementa el consumo de oxígeno, las concentraciones de gas metano y carbónico, causante del efecto invernadero.

De acuerdo con Zapata (2014), señala de la contaminación derivan de la utilización agropecuaria que se da al suelo por los desbordamientos de las ladrilleras, las inundaciones de aguas negras en los barrios aledaños con falta de un sistema de alcantarilla, por el manejo inadecuado de escombros, basura y deslizamientos (pág. 15). Lo que la ha convertido de acuerdo a González (2019) en la quebrada más contaminada (pág. 2); ya que, debido a la ocupación de sus rondas, ha perdido su cauce natural impidiendo su auto purificación de seguir aumentando la ocupación la problemática se intensificará.

Con respecto a lo estudiado por Cohen (2006) citado por González (2019), advierte que para el año 2030, aproximadamente el 60% de la población se trasladará a vivir a zonas urbanas, debido a que se provocará un factor que toma el nombre de “síndrome del río urbano” que corresponde a una variación en cuanto a los procedimientos en los lotes que corresponde a la urbanización (pág. 2), generando un impacto ambiental negativo y afectando al ser humano en diferentes aspectos como la salud pública, la economía y el entorno social.

A todo lo anteriormente expuesto se suma la contaminación atmosférica que de acuerdo con Rodríguez (2022) es un problema global que deja 7'000.000 víctimas prematuras a causa

relacionadas con la calidad del aire, sin contar con que 88% son descensos o fallecimientos se dieron en los territorios que representan ingresos escasos o regulares. En Bogotá, la presión ejercida por la industria y las fuentes móviles ejercen una marca en cuanto al atributo del aire, tanto así que varias oportunidades han declarado la alerta amarilla hospitalaria y ambiental (Rodríguez, 2022).

Para Bonilla (2021), en San Cristóbal cuenta con una disposición del aire clasificada en el rango de moderada con respecto a los individuos excepcionalmente sensibles en cuanto al límite de los atrevimientos físicos en exceso que se prolongan con respecto al aire libre. Por otra parte, esta localidad por la que atraviesa la Quebrada La Nutria, aunque no es la zona con mayor cantidad de empresas registradas, si se estima que representa el 2,1%, que equivale a 18.285 empresas, más la descomposición de los residuos, las concentraciones de gas metano y carbónico, el efecto invernadero y el creciente urbanismo intensifican la contaminación y la eficacia de aire debido a ello surge la siguiente pregunta.

Pregunta problema

¿Cuáles son las variaciones del estado de la atribución del aire a la meteorología en la microcuenca *La Quebrada La Nutria* en San Cristóbal en el periodo de tiempo entre 2016-2021?

Justificación

Esta investigación se justifica con base en lo señalado por Dodds (2013) citado por González et, al. (2019), lo cual corresponde a la protección de los patrimonios ambientales internacionalmente asegurando el abastecimiento de los mercados del ecosistema, lo que radica en gran importancia al aumento de la investigación corresponde a la comprensión del efecto que tiene el factor del estrés antropométrico y la acelerada demanda de la población en la ciudad y el pueblo reduciendo la temporalidad de la espera en la toma de medidas en cuanto al control que permita recuperar o restaurar el sistema de lotes en la mayor parte (pág. 3), ya que los ríos y quebradas son importantes porque reducen el calor, controlan las inundaciones y son áreas recreativas.

Sin embargo, en los últimos tiempos se ha evidenciado con más fuerza su deterioro, por su uso inadecuado sobre todo en los lugares ampliamente poblados, donde aumenta considerablemente las emisiones contaminantes, producto de la industria, el comercio, las transformaciones químicas, los medios de transporte entre otros, como es el caso de la quebrada la Nutria, lugar elegido para la presente investigación que tiene sus aguas contaminadas a lo largo de todo su recorrido, que de acuerdo a Zapata (2014) es de 1400mt aproximadamente (pág. 15) y que vierte sus aguas en la Chiguza, que finalmente desembocan en el río Bogotá, convirtiéndola en otro eslabón atmosférica más preocupante en Colombia.

Cabe resaltar que, la incidencia y el reconocimiento atribuido al aire no se presenta solo en el sentido de establecer las temáticas sociales y ambientales, debido a que en sí mismo dicha situación tiene una incidencia en términos de factores económico y por tanto normativos. Teniendo en cuenta que en los diversos contextos de los territorios se desarrollan actividades

económicas específicas y que estas en la mayoría de las ocasiones deben gozar de ambientes seguros; en estas una mala calidad de aire puede denotarse en torno a una pérdida de la capacidad productiva de los trabajadores, principalmente por condiciones de salud a nivel respiratorio, como se refleja en la reducción de la eficiencia en la empresa, bien sea para la productividad o manufactura de los inmuebles o por la prestación de servicios.

Finalmente, a nivel normativo, se hace importante resaltar que la legislación colombiana es ampliamente categorizada como una legislación enfocada a proteger las riquezas ambientales, donde se incluye el aire y por ende la calidad de este, es así como que las empresas e instituciones que generen afectaciones directas a dicho recursos se encuentran en la obligación de desarrollar una serie de caracterizaciones que permitan conocer el estado real del mismo y en contraprestación generar un procesos de compensación y/o mitigación de dichos impactos ambientales.

Antecedentes

Entre los antecedentes nacionales, está el trabajo realizado por (Rodríguez et al., 2019). Titulado Análisis Especial de las concentraciones de PM en Bogotá, según los valores de la OMS para Enfermedades cardiopulmonares 2014 2015.

Se propusieron la estimación de concentración de partículas en suspensión en la ciudad (Bogotá) durante el año 2014 y 2015, para clasificarlas de acuerdo con la guía de calidad del aire de la OMS.

El método utilizado fue la geoestadísticas, haciendo cálculos promediados que comprendan un tiempo correspondiente a 6hr en un día, en diferentes lapsos de tiempo. Dicho método les permitió llegar a la conclusión que las diferentes proritudes fructíferas y automatizadas.

También es importante resaltar que en San Cristóbal y Usaquén son zona en Bogotá que cuentan con los beneficios de la vegetación y hay una mejor calidad del aire.

El anterior antecedente contribuye a esta investigación información valiosa con respecto a la eficacia del aire en la ciudad capital de Colombia, en donde se encuentra la Quebrada la Nutria que es objeto de la presente investigación.

Otra publicación importante es el trabajo de (Posada et al., 2017), titulado Análisis comparativo y modelación de las situaciones de calidad del aire en una muestra de ciudades del mundo. Para cumplir con el propósito de este documento de investigación se toman como objetivos de estudio 25 ciudad para analizar de forma comparativa la composición del aire, tomando en cuenta que estas ciudades deben ser de países desarrollados o en vía del mismo,

teniendo en cuenta características de ubicación y población, la información se recolectó a través de estudios científicos y de datos en páginas web confiables.

De acuerdo a sus conclusiones, se determinó que Beijing y Cochabamba los niveles de contaminación son mayores debido a la presencia de fuentes inmensas en la industrialización de las energías no controladas en cuanto al uso masivo correspondiente al carbón o los carros.

Con respecto a Colombia, específicamente, Medellín, objeto de estudio, se considera que es una región con una alta riqueza, energía eléctrica renovable y, por lo tanto, como estrategia para reducir la contaminación, de debe empezar la transición en un transporte público basados en electricidad; ya que la ciudad muestra índices elevados de ocupación de áreas vehicular.

La siguiente investigación fue realizada por realizada por (Cabra, 2019), titulada, Evaluación de los sistemas Ecosistémicos de la quebrada las delicias, ubicada en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, se realizó con el propósito de identificar, comparar y evaluar los sistemas ecosistémicos que proporciona la quebrada las Delicias, la cuales son la Virgen, Ahogado, Redondo y la Nutria.

La metodología es una revisión documental mediante la que se obtuvo información que permitió elaborar un diagnóstico de los aspectos naturales y socioeconómicos del área, también se le realizó una encuesta a la Comunidad, con la cual se recolectó información que pudiera mostrar el sentido de pertenencia y apropiación que tienen los habitantes con la quebrada.

Los resultados permitieron determinar que las dinámicas poblacionales han, impactado la prestación del servicio del ecosistema desarrollado con la quebrada las Delicias obstruyendo su cauce y alterando la cobertura vegetal, también se identificó que la quebrada, debido a sus

características, brinda oportunidades de función ecosistémica de lugares en cuanto a la recreación de la cultura que se realizan acorde a la capacidad de carga de suelo para evitar el sobrecargo de la quebrada en comparación con las implicaciones que restringen el camino a la caída de los bosques.

El trabajo realizado por (González et al., 2019), para optar al título de Magíster en Ciencias Ambientales, titulado Valores primarios de bioindicación para exuvia Pupaes de 16 taxones de Chironomidae, Habitando en quebradas urbanas Alto Andinas en Bogotá D. C.

Se realizó un levantamiento de cinco ríos: La Vieja, Arzobispo, San Francisco, La Nutria y Yomasa. El objetivo es correlacionarlos y determinar los gradientes ambientales a partir de los cuales se pueden obtener valores óptimos y aceptables para cada género. Esto sugiere que Otterbach es el más contaminado por materia orgánica, recibe aguas residuales domésticas, no se trata comercialmente y la presencia de aceites usados, detergentes y agentes de limpieza ha resultado en varias, se concluyó que se detectaron altos niveles de alcalinidad en el lugar.

A nivel internacional el estudio realizado por (Valdivia, 2021), para optar el título profesional de ingeniero sanitario, titulado Calidad del Agua, de la quebrada Azungue y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del sector, Shango de la ciudad de Moyobamba. Como propósito se propuso evaluar la incidencia de la calidad del agua de la quebrada para lo cual realizó la identificación de los tipos de aguas residuales que son descargadas, haciendo un muestro de la DBO5, DQO, OD, turbiedad y sólidos totales suspendidos, además.

Se tuvo una muestra de 150 habitantes. Para analizar el nivel de incidencia de la calidad del agua de la quebrada. Como resultados se obtuvo que la población encuestada manifiesta que la calidad de vida se ve afectada por las enfermedades producto de la contaminación y el análisis

arrojó como resultado que exceden los estándares de la calidad ambiental para agua en todas las subcategorías, el cual se debe principalmente a la descarga de aguas residuales de tipo doméstica y urbana.

Objetivos

Objetivo general

Realizar una examinación en cuanto a la variación y calidad del aire en el área de influencia directa de la microcuenca “*Quebrada La Nutria*” durante el periodo 2016 a 2021, con el fin de determinar la incidencia con respecto a la variable meteorológica del estado de la misma.

Objetivos específicos

Establecer la variación de la calidad del aire en la microcuenca “*Quebrada La Nutria*” en el período de tiempo comprendido entre el año 2016 y el año 2021

Identificar las acciones susceptibles a producir impactos en la calidad del aire en la microcuenca “*Quebrada La Nutria*”

Reconocer estrategias y acciones ambientales para el mejoramiento de la calidad del aire en la microcuenca “*Quebrada La Nutria*”

Marco teórico

Aire

Según Carranza (2004), mencionado en el estudio de (Flores, 2017), el aire se considera un recurso vital compartido que debe estar sujeto a regulaciones para prevenir su deterioro debido al uso y abuso, con el objetivo de preservarlo (pág. 2).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), también citada en el mismo estudio de Flores (2017), define el aire puro como una combinación de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas que rodean nuestro planeta (pág. 12).

Componentes del aire

La (European Union, 2013), indica que:

El aire seco está compuesto por un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y un 1 % de argón contiene vapor de agua, que representa entre el 0,1 % y el 4 % de la troposfera.

El aire caliente generalmente contiene más vapor de agua que el aire frío y pequeñas cantidades de otros gases llamados "gases traza", como el dióxido de carbono y el metano.

Sin embargo, componentes del aire vienen cambiando continuamente hay, además otros gases y partículas como el hollín y metales, que son altamente reactivas, producto de fuentes antropológicas que se asocian con las actividades humanas y que, al combinarse con otras sustancias, forman los contaminantes secundarios que perjudican la salud y el medio ambiente.

Calidad del aire

Según (OMS, 2021), la contaminación del aire es un grave para el bienestar, asociado con enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cáncer, problemas neurológicos crónicos o agudos, como el asma. Según informes de la OMS en 2019, aproximadamente el 99% los individuos residían en áreas.

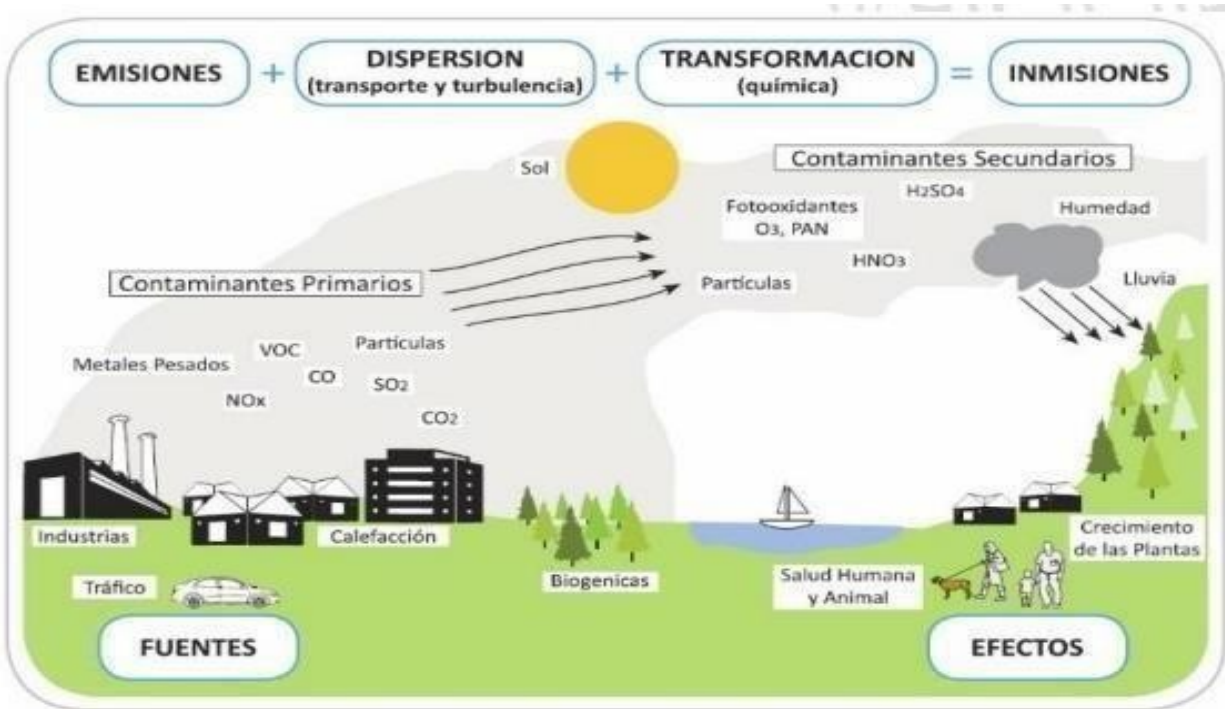
Contaminación atmosférica

La presencia de altas concentraciones de sustancias en la atmósfera, ya sea como resultado de la actividad humana o como parte de procesos naturales, es reconocida por la OMS como un problema (MAVDT, 2008), estas sustancias son dañinas tanto para la salud humana como para el medio ambiente (pág. 13).

En la actualidad, la contaminación del aire es una preocupación en todo el mundo debido a su alta mortalidad y morbilidad, los gobiernos comienzan a incluir este tema en sus planes.

Según información proporcionada por el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) en 2019, mencionado por (Hernández et al., 2019), los principales contaminantes generados debido al uso extensivo de combustibles fósiles son el Material Particulado (MP), los óxidos de azufre (SO_x), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂) (p. 6).

Figura 1. Ciclo de los contaminantes del aire



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) citado en (Hernández et al., 2019, pág. 7)

Efectos en la salud

Según información proporcionada por la OMS 2018, tal como se menciona en el estudio de (Hernández et al., 2019), la contaminación ambiental en ciudades y áreas rurales de todo el mundo ha llevado a la muerte prematura de aproximadamente 4,2 millones de personas cada año.

El 91% de estas muertes ocurren en países de bajos y medianos ingresos las regiones con las tasas más altas de morbilidad son Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental (p. 11). En términos generales, la contaminación ambiental se ha asociado con enfermedades como el cáncer de pulmón, accidentes cerebrovasculares y enfermedades cardíacas isquémicas.

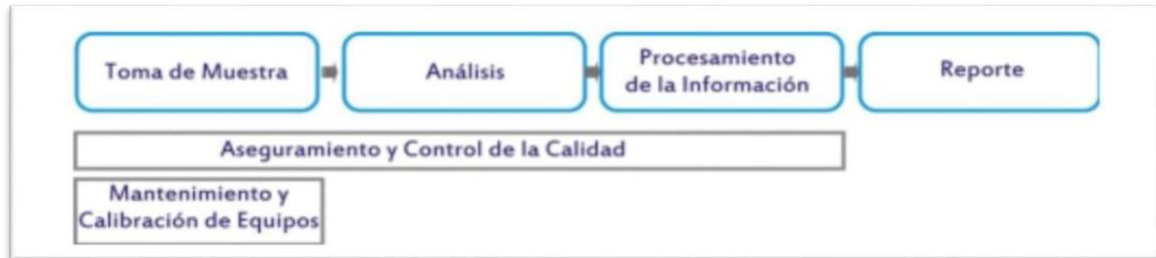
Sistemas de vigilancia de la calidad del aire

SVCA comprenden una serie de procesos, herramientas e instrumentos que permiten evaluar los niveles de contaminación presentes en una zona específica (MAVDT, 2008, pág. 13). Dependiendo de la tecnología utilizada, los instrumentos empleados en el funcionamiento de un SVCA pueden variar:

SVCA manuales

Utilizan equipos contadores y requieren un laboratorio para analizar las muestras recolectadas. Estos sistemas siguen una serie de pasos predefinidos para su operación, lo que garantiza la eficacia en la recopilación de información. Las etapas son:

Figura 2. Etapas de un SVCA manual



Fuente: (MAVDT, 2008)

SVCA automáticos

Compuestos íntegramente por sistemas automatizados y dispositivos, estos sistemas realizan análisis de la muestra inmediata que permite tomar medidas inmediatas ante eventos de alta contaminación.

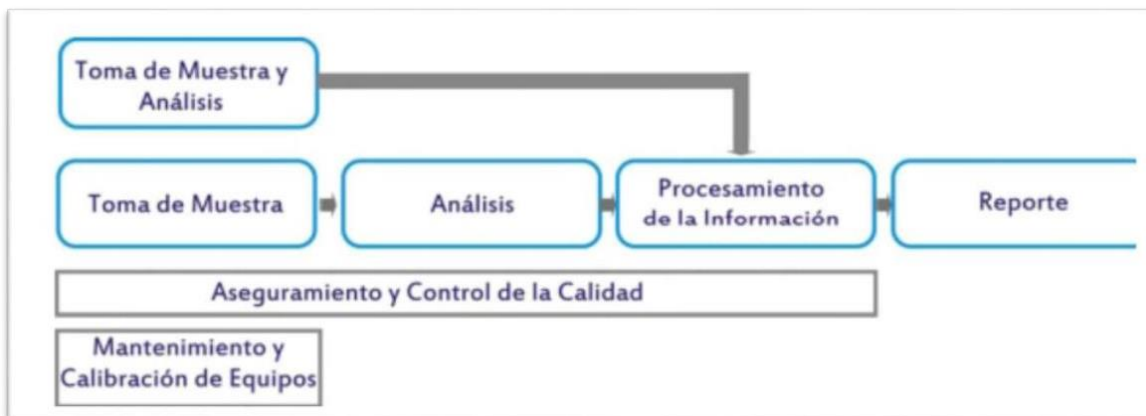
Figura 3. Proceso de operación de un SVCA automático



Fuente: (MAVDT, 2008)

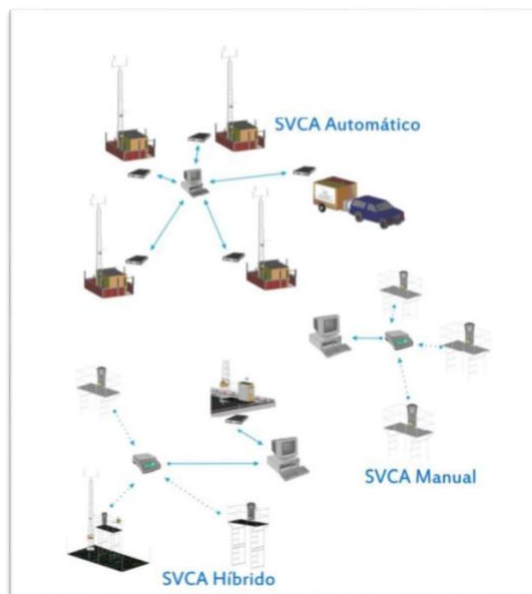
Conformados por la combinación entre equipos automáticos y manuales, para vigilar la calidad del aire, optimizando costos y ampliando la cobertura, aprovechando los dos sistemas; sin embargo, requiere mayor número de personal.

Figura 4. Etapas del proceso de operación SVCA híbrido



Fuente: (MAVDT, 2008)

Figura 5. Tipos de SVCA según su tecnología



Fuente: (MAVDT, 2008)

Planes de gestión de la calidad del aire

Se trata de mitigar el impacto causado por diversos agentes atmosférico del bienestar. Para lograrlo, se requiere de una serie de procesos, procedimientos y normas aplicados en el Plan de Gestión de la Calidad del Aire (PGCA), que implica el análisis de la relación entre las fuentes contaminantes y los receptores, así como sus implicaciones en la calidad del aire.

Por lo que, destacar la relevancia de los planes de gestión de calidad del aire según (MAVDT, 2008), ya que permiten comprender qué procesos productivos e industriales afectan el aire y evaluar las consecuencias para tomar acciones de control más efectivas con el objetivo de minimizarlos (pág. 23).

Figura 6. Etapas involucradas en el PGCA.



Fuente: (MAVDT, 2008)

Existen tres herramientas fundamentales establecidas para la implementación del PGCA, según (MAVDT, 2008)

Figura 7. Herramientas del PGCA



Fuente: (MAVDT, 2008)

La evaluación de emisiones y los registros de mediciones permiten cuantificar el impacto generado en términos de deterioro del aire que esto tiene en el bienestar. Asimismo, a través de las mediciones se puede cuantificar el efecto de las medidas adoptadas para mitigar la simulación de la calidad del aire es necesaria para formular, establecer o ajustar políticas y opciones de control que se evalúan para prever efectos futuros. Por último, las políticas estructuradas son el resultado de las evaluaciones realizadas en el uso del suelo o el uso de combustibles y otras sustancias que puedan tener implicaciones graves para la población.

Índice de calidad del aire (ICA)

Según la investigación de (Hernández et al. A. G., 2012), el (ICA) es una herramienta que posibilita la comparación de los niveles de contaminación atmosférica en las estaciones de monitoreo que componen un sistema de vigilancia durante un determinado intervalo de tiempo, el cual corresponde al periodo de exposición establecido en la normativa de los contaminantes que están siendo evaluados (pág. 2).

Teniendo en cuenta los contaminantes monitoreados en el país, las características de los combustibles comercializados y los equipos actualmente instalados en el SVCA, este índice se calcula de manera independiente para cada uno de los seis principales contaminantes PM10 y PM2.5, SO2, NO2, O3, CO (Hernández et al. M. B., 2019, pág. 2).

En Colombia, se ha implementado el (ICA) con el propósito de evaluar el estado de la calidad atmosférica según menciona (Hernández A. , 2013, pág. 2).

Esta metodología ha sido adoptada por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Resolución 2254 de 2017, y se basa en el documento EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009, elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (p. 2).

Para obtener una comprensión precisa del índice se establece escala numérica que se asocia con un código de colores correspondiente, que varía de 0 a 500.

Figura 8. Descripción del índice de calidad del aire

Rango	Color	Estado	Efectos
0 - 50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51 - 100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. 1) Ozono Troposférico: las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, debe reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material particulado: Las personas con enfermedad cardiaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151 - 200	Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud
201 - 300	Púrpura	Muy dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud
301 - 500	Marrón	Peligrosa	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud

Fuente: (Hernández A. , 2013, pág. 3)

La calidad del aire a nivel mundial

Según las observaciones de (Querol, 2018), en el año 2016, más del 54% de la población mundial residía en áreas urbanas, y se estima que esta cifra aumentará al 66% para el año 2050. Este crecimiento de la población en zonas urbanas conlleva un incremento en el consumo de energía per cápita a nivel global, lo que resulta en un aumento del 65% en las emisiones de CO₂ per cápita. Este consumo energético está estrechamente relacionado con el aumento de vehículos en las principales ciudades, tanto en Europa como en el resto del mundo, lo que ocasiona graves problemas de contaminación y deterioro de la calidad del aire (pág. 16), estos problemas y riesgos se pueden observar en las siguientes escalas.

Escala global

Son generados tanto por fuentes naturales como por actividades humanas, y aunque no impactan directamente en la salud humana ni en los ecosistemas, sí tienen repercusiones a nivel global. De acuerdo con (Querol, 2018) destaca que estos contaminantes contribuyen al calentamiento global, ocasionado por la presencia de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano y el carbono negro, se ha observado la degradación de la capa de ozono debido a la emisión de compuestos halogenados, lo cual tiene efectos contaminantes a nivel mundial (pág. 16).

Escala media

Esta medida se refiere a los agentes contaminantes y sus subproductos que se propagan a largas distancias, teniendo un impacto en el bienestar humano

, los ecosistemas y los materiales de construcción. En relación a esto, (Querol, 2018) destaca que estos elementos son los responsables de:

Transporte y deposición de contaminantes orgánicos persistentes y mercurio (Hg), transporte y formación de O₃ troposférico y deposición ácida del transporte de polvo africano a Europa o al Océano Atlántico. Durante estos procesos, los contaminantes o sus precursores se liberan localmente, se transportan a largas distancias y, en ocasiones, incluso se vierten (p. 17).

Esto implica que los lugares afectados se encuentran a una distancia significativa de las fuentes emisoras. En el caso de la lluvia ácida, según lo mencionado por (Querol, 2018), las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes de fuentes específicas son transportadas, oxidándose y convirtiéndose en ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido

nítrico (HNO₃). Estos ácidos pueden depositarse en el medio ambiente a cierta distancia de la fuente emisora, acidificando los suelos y los recursos hídricos, lo que ocasiona graves problemas ecológicos (pág. 17).

La microescala

En esta escala se observan los mayores impactos de la degradación. Según (Querol, 2018), refiere a áreas urbanas, industriales o rurales que experimentan los efectos de las emisiones generadas por actividades como el tráfico, las emisiones domésticas, las centrales térmicas, los proyectos de construcción y demolición, los puertos y aeropuertos (pág. 17). La (OMS), mencionada por (Querol, 2018), destaca que el material particulado en suspensión (PM₁₀, PM_{2,5}) es el contaminante del aire que tiene el mayor impacto en la salud, lo que lo convierte en el objeto de estudio más relevante a nivel global, especialmente en regiones en desarrollo (pág. 18).

Existen diversos metales y agentes contaminantes que exceden los límites de protección establecidos. En los países industrializados, el uso de combustibles de biomasa y carbón en sistemas de calefacción residencial es la principal razón del aumento de las concentraciones atmosféricas.

Calidad del aire en Bogotá

En Colombia, particularmente en Bogotá, el sector del transporte presenta una alta demanda de energía que se abastece principalmente con combustibles fósiles. Esto provoca, según (Pachón, 2016)mencionado en (Querol, 2018), un aumento del 90% en las emisiones de gases contaminantes como monóxido y dióxido de carbono (pág. 268). En cuanto a la industria,

su consumo se centra principalmente en gas natural y carbón, lo que ha tenido un impacto significativo en la salud pública, según informes del año 2015.

Fuentes de emisión que impactan negativamente la calidad del aire

Según (Pachón, 2016) mencionado en (Querol, 2018), se identifican diversas fuentes de emisión de contaminantes en la atmósfera, como los medios de transporte, los sistemas ferroviarios, el sector comercial e industrial, la industria de la construcción, las estaciones de servicio, el manejo de residuos sólidos y líquidos, así como los incendios forestales (pág. 266).

Figura 9. Emisiones a la atmósfera. Por los diferentes sectores

Fuente	PM _{2.5} (t/año)	PM ₁₀ (t/año)	COVs (t/año)	CO (t/año)	NOx (t/año)	SO ₂ (t/año)	CO ₂ (t/año)
Móviles (en ruta)	1.125	1.240	26.105	240.973	4.276	1.257	9.163.396
Móviles (fuera de ruta)	N.D.	157	N.D.	4.521	5.159	159	769.623
Fijas (industria + comercial)	285	1.411	2.933	3.341	3.342	2.226	1.625.935
Estaciones de servicio	N.D.	N.D.	23.789	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Polvo resuspendido*	9.085	43.087					
Total	10.914	46.221	52.884	244.314	64.073	3.642	11.588.614

Fuente: (Pachón, 2016)

Según la figura anterior, las fuentes de emisión móviles fuera de las rutas habituales incluyen los aeropuertos de la ciudad (El Dorado y Guaymaral), maquinaria utilizada en la industria y construcción, así como locomotoras. La cantidad de polvo resuspendido ha sido evaluada utilizando la metodología AP-42, capítulo 13 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Pachón, 2016) citado en (Querol, 2018, pág. 278).

En Bogotá, los informes de salud pública relacionados con la contaminación del aire revelan un aumento en la tasa de mortalidad y en enfermedades respiratorias. Esto ha generado un costo económico superior a los 1000 millones de pesos en el año 2014, lo cual representa aproximadamente el 1,1% del Producto Interno Bruto (PIB) (Pachón, 2016), citado en (Querol, 2018, pág. 281). Como se puede observar en la siguiente información.

Figura 10. Costos asociados a la contaminación del aire por PM y O₃

CONTAMINANTE	MORTALIDAD	EDAD (AÑOS)	DEFUNCIONES ESTIMADAS	COSTE (10 ⁶ US\$)	% PIB BOGOTÁ
PM _{2,5}	Todas las causas	> 30	1.746	1.002	1,1
PM ₁₀	Infantil	< 1	330	190	0,2
O ₃	Todas las causas	> 30	152	88	0,1

Fuente: (Pachón, 2016)

Figura 11. Medidas para mitigar el impacto a corto, mediano y largo plazo

Movilidad sostenible	Reduciendo el uso de vehículos particulares
Gestión de la energía	Con la reconversión tecnológica y el uso de la energía renovable
Infraestructura urbana	Con el aseo vial, el manejo de escombros, las obras de construcción y el mantenimiento constante de los ambientes naturales
Fortalecimiento institucional	Con la regulación para fuentes contaminantes, impartiendo deberes y responsabilidades
Investigación y concientización	Campañas formativas

Fuente: Elaboración propia

Marco legal

Normativa nacional sobre la calidad del aire	
Norma	Descripción
Ley 23 de 1973	La aplicación de regulaciones se lleva a cabo con el propósito de evitar y gestionar la contaminación ambiental, otorgando al jefe de Estado la autoridad para promulgar el código de preservación de los recursos naturales y protección del entorno, con el fin de salvaguardar la salud y el bienestar de todos los ciudadanos.
Decreto 2811 de 1974	El gobierno tomará medidas para prevenir y restringir el uso de elementos ambientales y recursos naturales no renovables que puedan tener un impacto negativo en el medio ambiente.
Ley 9 de 1979	Esta legislación establece disposiciones sanitarias para la preservación del entorno ambiental, y otorga al Ministerio de Salud la autoridad para emitir regulaciones de control de la contaminación del aire.
Decreto 1228 de 1997	Esta normativa establece los requisitos y estándares de emisión que deben cumplir los vehículos automotores para obtener su certificación.
Decreto 1594 de 1984	Esta regulación establece las pautas y requisitos para el manejo del agua y los desechos líquidos, así como los diferentes métodos de tratamiento de acuerdo con su correcta disposición.
Ley 99 de 1993	Esta normativa contempla la organización y creación de organismos encargados de supervisar y controlar el cumplimiento de las disposiciones ambientales, establece la regulación y el acatamiento de la normativa vigente en materia ambiental.
Decreto 2107 de 1995	Esta regulación establece directrices relacionadas con la utilización de combustibles pesados, las emisiones generadas por vehículos y las actividades que tienen un impacto contaminante en el medio ambiente.

Resolución 619 de 1997	Esta normativa define los requisitos necesarios para obtener los permisos de emisión de contaminantes atmosféricos en fuentes estacionarias.
Resolución 2115 del 2007	Esta legislación establece las especificaciones, herramientas y frecuencias del sistema de monitoreo y supervisión para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano.
Resolución 910 de 2008	En esta normativa se establecen los límites autorizados de emisión de sustancias contaminantes que deben ser cumplidos por los vehículos terrestres en movimiento.
Resolución 1111 de 2013	Se realizaron modificaciones a la Resolución 910 de 2008, con el objetivo de establecer de manera precisa los requisitos para cumplir con los límites máximos permitidos de contaminantes por parte de los vehículos y otras fuentes móviles, a excepción de las locomotoras.
Resolución 2154 de 2010.	Se llevó a cabo una modificación del protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, en concordancia con lo establecido en la resolución 650 del año 2010.
Resolución, 650 de 2010.	La normativa establece el Protocolo, el cual proporciona orientaciones, metodologías y procesos para realizar las tareas de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire a nivel nacional.
Resolución 2254 de 2017	Esta normativa define las responsabilidades del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como las regulaciones ambientales generales que deben seguirse en relación con el medio ambiente. Estas normas se aplican tanto a los centros urbanos y asentamientos humanos como a cualquier servicio o actividad que pueda tener un impacto directo o indirecto en el medio ambiente. El objetivo es garantizar el derecho colectivo de disfrutar de un ambiente saludable, tal como lo establece la Constitución Política de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Normativa internacional sobre la calidad del aire

Norma	Descripción
Ley del aire limpio	<p>La Agencia de Protección Ambiental (EPA) establece normas para controlar las emisiones de contaminantes tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles.</p> <p>Se promueve la colaboración entre los distintos niveles de</p>
Convenio de Ginebra de 1979.	<p>gobierno para salvaguardar la salud y el medio ambiente, mediante la formulación de políticas pertinentes, el intercambio de información y la realización de investigaciones aplicadas. El objetivo es fortalecer la supervisión y control de las emisiones contaminantes, con el fin de limitar, prevenir y reducir su impacto negativo.</p>
Directiva 96/62/CE del Consejo del 27 de septiembre de 1996	<p>Se basa en un tratado fundacional de la Comunidad Europea que tiene como objetivo proteger el entorno natural y la salud de las personas. Su finalidad es prevenir y evaluar las concentraciones de sustancias contaminantes en el aire que puedan resultar perjudiciales, estableciendo un límite máximo de alerta para su control.</p> <p>Esta normativa establece la colaboración mutua en el intercambio</p>
Decisión 97/101/CE del Consejo, de 27 de enero de 1997	<p>de información entre las redes y estaciones de monitoreo de la contaminación en los países miembros de la Unión Europea. El objetivo es evaluar y actualizar constantemente los avances científicos y sanitarios relacionados con las medidas adoptadas para preservar la calidad del aire.</p>
Protocolo de Gotemburgo de 1999	<p>Esta normativa establece los límites máximos aceptables para las emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco.</p>
Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000	<p>Establece valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire y ambiente.</p>

Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002	Esta normativa propone cambios en la legislación relacionada con los contaminantes atmosféricos, sugiriendo la establecimiento de metas de calidad del aire que aseguren una protección efectiva contra los efectos perjudiciales para la salud humana causados por la exposición al ozono.
Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo	Este programa implementa medidas colectivas con el objetivo de salvaguardar la salud de las personas y el medio ambiente en su conjunto, abordando activamente la reducción de las emisiones contaminantes.

Fuente: Elaboración propia

Metodología

En este proyecto se empleó un enfoque de investigación combinado, el cual, según las afirmaciones de (Rus, 2020), combina tanto métodos cuantitativos como cualitativos para aprovechar las ventajas de ambos y mitigar sus desventajas, es decir, que la investigación mixta usa ambos métodos, lo que le confiere al estudio una mayor profundidad y mirar el fenómeno que se analiza desde las características cualitativas y los datos numéricos. El proceso de una investigación mixta inicia, según (Rus, 2020), con un análisis bibliométrico que mide y analiza lo que se ha escrito sobre el tema a través de indicadores e índices, lo que implica la parte cuantitativa del estudio, seguidamente se realiza una revisión documental que es la parte cualitativa de la investigación, lo que desemboca en el estudio mixto.

Para fines se utilizaron indicadores y datos numéricos obtenidos de fuentes escritas que abordan los métodos de medición de la contaminación y los sistemas encargados de detectarla, analizarla, medirla y promover su reducción, se llevó a cabo una revisión documental para respaldar la investigación con información relevante.

Figura 12. Proceso de investigación mixta



Fuente: Elaboración propia

Además, contó con un enfoque exploratorio, que es definido por (UlaOnline, 2017), como una investigación que se lleva a cabo en relación a un tema u objeto poco conocido, de escasa difusión o cuando existe falta de información, los resultados obtenidos brindan una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento, lo que establece que la investigación recopila información sobre el tema, sentando las bases para futuras investigaciones o procesos similares . En la ejecución de este proyecto se aplicaron los pasos recomendados por la OMS para evaluar los riesgos en la salud de la población expuesta a vertederos de residuos sólidos, y se procedió a planificar la recolección de muestras a partir de una descripción detallada del lugar de interés, que en este caso fue la "Quebrada La Nutria" en San Cristóbal Bogotá, en el territorio colombiano. El objetivo fue identificar los posibles contaminantes y determinar posibles vías de exposición.

Desarrollo metodológico

Levantamiento de la información

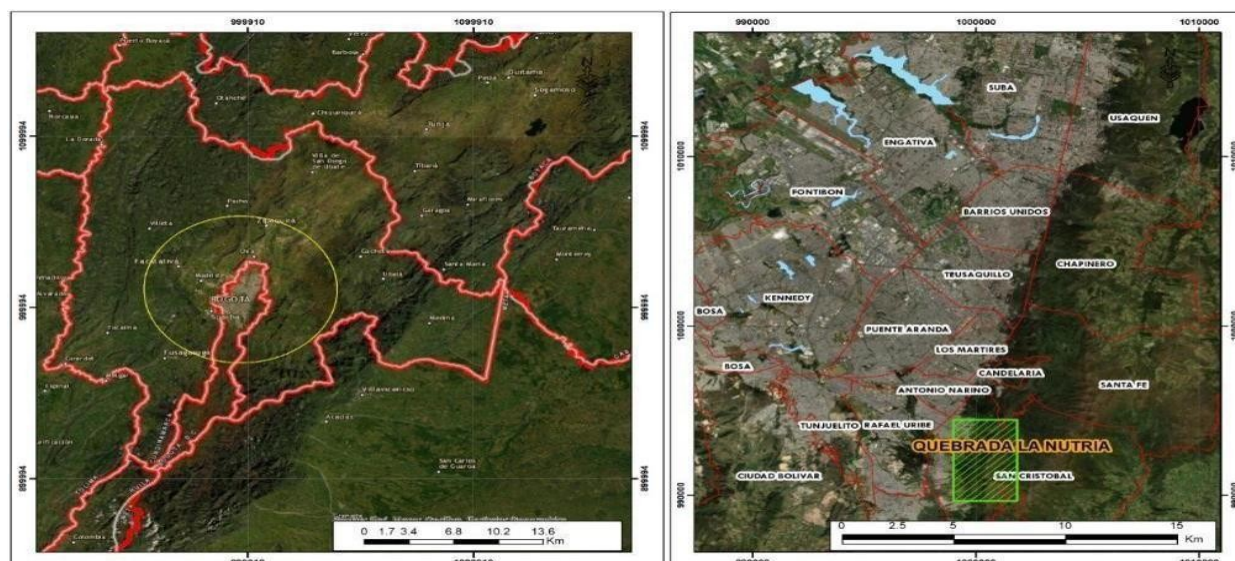
En primer lugar, se realiza un estudio descriptivo a largo plazo para examinar el comportamiento de los agentes contaminantes presentes en la cuenca atmosférica. Se analizan los contaminantes primarios esenciales que surgen de los procesos erosivos y la combustión de combustibles fósiles, como las partículas en suspensión (PST) y las partículas respirables de menor tamaño (PM10). Se investiga el comportamiento de tres gases perjudiciales para la salud: los óxidos de nitrógeno (NOx), los óxidos de azufre (SOx) y el monóxido de carbono (CO). Además, se estudia el ozono (O3), que se forma a partir de reacciones fotoquímicas, y se analizan sus fluctuaciones temporales en términos de concentración.

Luego, se examinan los datos originales recopilados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire durante el lapso de tiempo comprendido entre 2016 y 2021, se incorporan todos los registros disponibles correspondientes a cada contaminante para obtener una cobertura completa del período. Los datos se verifican mediante mediciones actualizadas, asegurando la precisión y la capacidad de reproducción de los resultados.

Localización espacial

El lugar de estudio está ubicado en la localidad de San Cristóbal, en la ciudad de Bogotá D.C, departamento de Cundinamarca, territorio colombiano.

Figura 13. Localización del proyecto



Fuente: Elaboración propia

La Quebrada La Nutria ubicada San Cristóbal area influencia de Quebrada La Nutria, las unidades litológicas que conforman el terreno son de dos tipos: Unidades roca y Unidades de depósito

El área en la que se encuentra el cuerpo de agua de la Quebrada La Nutria objeto de alindramiento corresponde a un paisaje con coberturas naturales y coberturas culturales (edificaciones, infraestructura, entre otras), cuya matriz es una transición urbana-natural influenciada por fuertes transformaciones al través del tiempo (adoptado de Etter, 1991). Se encuentra plantación forestal exótica, plantación forestal con origen nativo, bosque de ripario, misceláneo de bosques, matorral cerrado, matorral abierto, herbazal y cultivos.

La alta concentración de procesos productivos en las ciudades que tienen mayor índice poblacionales lo que hace que el aire presente una mayor contaminación, y según los resultados, se observa que la mayor polución es por PM10 que son partículas primarias que provienen de

forma natural por incendios forestales o erupciones volcánica; o de manera humana por las construcciones, labores agrícolas, industrias, etc., aunque estas no viajan muy lejos por su tamaño aun así son nocivas para la salud.

Figura 14. Aspecto del contacto de arcillolitas y areniscas



Fuente: (SER-SDA, 2015)

Figura 15. Aspecto del empacamiento de capas de areniscas y de las intercalaciones con lodolitas



Fuente: (SER-SDA, 2015)

Figura 16. *Espetiopsis corymbosa*, especie propia de ecosistemas, altoandinos presente en los matorrales abiertos del área de estudio



Fuente: (SER-SDA, 2015)

Figura 17. Sector de bosque. Ripario dominado por pasto kikuyu.



Fuente: (SER-SDA, 2015)

Figura 18. Red hidrográfica de la zona



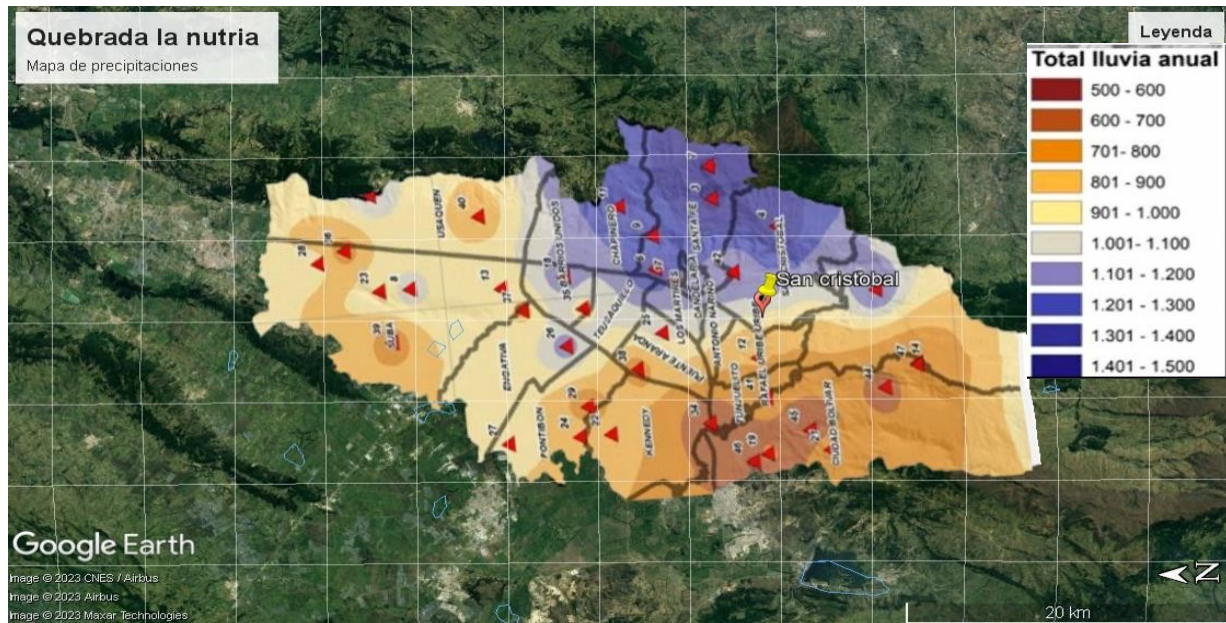
Nota: Mapa que muestra la red hidrográfica donde se vincula a la Quebrada La Nutria en el sur de Bogotá. Creación propia, extracto de mapa desde el sistema de información cartográfico Google Earth.

A continuación, se presenta a través del mapa la Red hidrográfica de la zona estudiada vinculada a la Quebrada la Nutria, donde muestran las curvas de nivel destacadas en color rojo, ríos principales y microcuencas tributarias, se toma en consideración que todas las quebradas de Bogotá se encuentran vinculadas al río Tunjuelo.

Se puede delimitar a la zona teniendo en cuenta que la cuenca del río Tunjuelo, tiene ocho tributarios, entre ellos la quebrada de Chiguaza, siendo, donde el material que se transporta hacia la quebrada “La Nutria” es parte de la vertiente de dicha depresión orográfica, por lo cual los materiales transportados tales como productos de procesos industriales, carnicerías y de la actividad rural de la zona son parte del gran sistema de drenaje de la zona del sur de la ciudad

que termina por afectar la calidad del ambiente de la zona por procesos de trasportes de materiales.

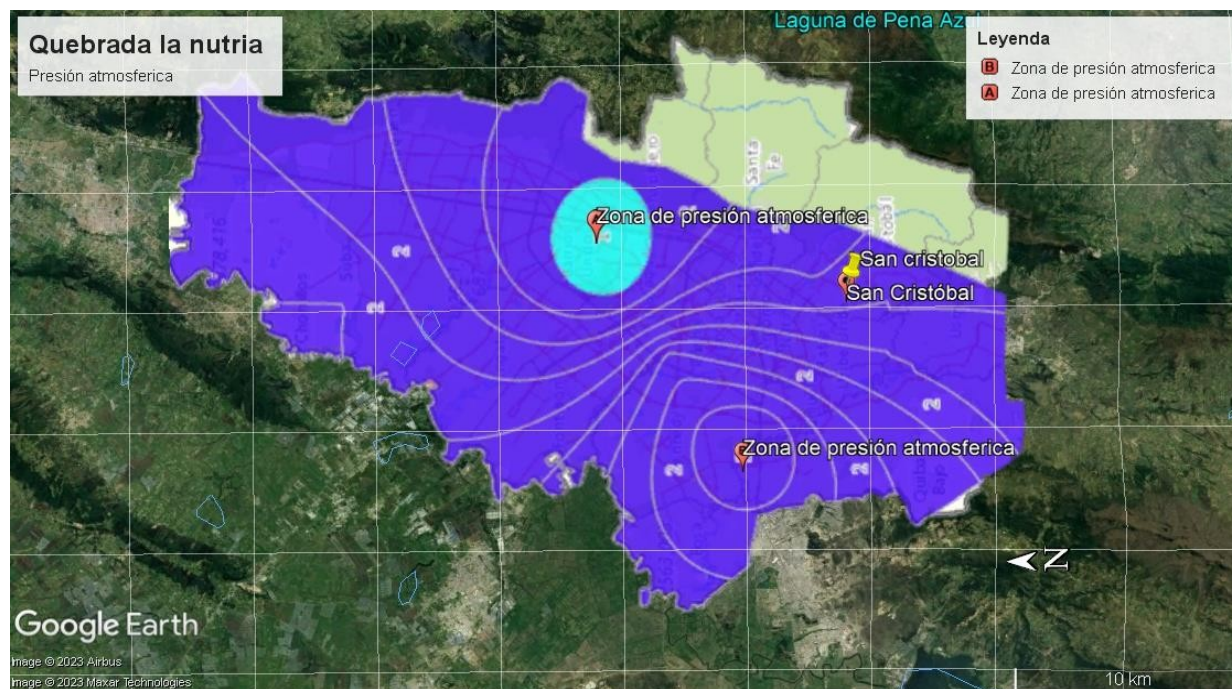
Figura 19. Registro de precipitaciones



Nota: Mapa que muestra el registro de precipitaciones anuales en el sur de Bogotá. Creación propia, extracto de mapa realizado desde el sistema de información cartográfico Google Earth.

En el mapa presentado anteriormente se representa, a través de los estratos de colores, precipitaciones medias anuales de la zona en estudio, en donde se puede notar que el color púrpura existe una mayor precipitación y se encuentra en las zonas con mayor altitud, donde precisamente se encuentra la cuenca en quebrada La Nutria, y que a su vez son comportamientos provocando por el desarrollo de otros factores atmosféricos y ambientales característicos de la zona, tales como presión atmosférica y el tipo de relieve.

Figura 20. Presión atmosférica



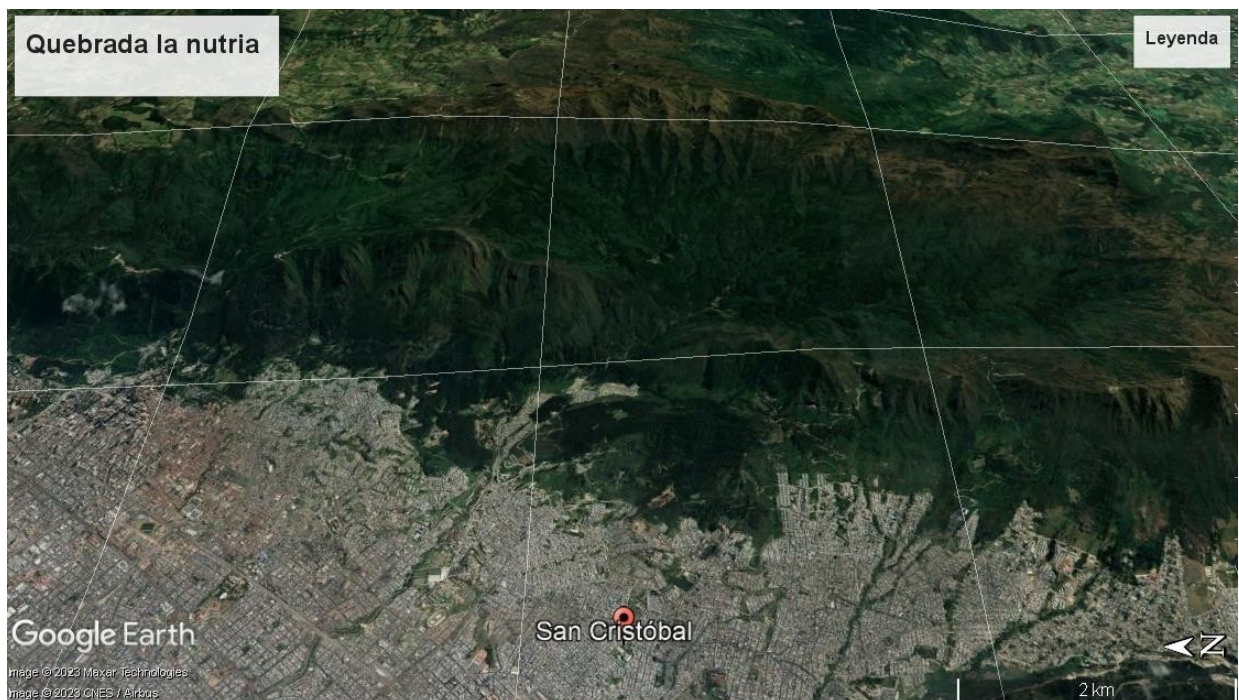
Nota: Mapa que señala la actividad de la presión atmosférica vinculada a la zona de trabajo. Quebrada La Nutria, en el sur de Bogotá. Creación propia, extracto de mapa realizado desde el sistema de información cartográfico Google Earth.

A través del mapa presentado se puede distinguir los puntos de presión atmosférica presente en el territorio que se está estudiando, donde se puede distinguir los sistemas de viento propios de un valle, los cuales son vientos de tipo catabático, es decir, desarrollado a consecuencia del deslizamiento del aire frío por los suelos y promoviendo un aire más denso cuando el viento roza elementos de relieve altos.

Tal como expresa la autora; “corresponde a un viento que sopla en forma descendente y a una temperatura fría, por cerros y montañas” (Moraga, 2012).

Por lo cual, se puede añadir que, en la zona, ocurre este fenómeno donde durante el día, donde el viento viaja desde lo más bajo hasta las montañas, mientras que en la noche ocurre de forma opuesta. Recordando que el factor de presión atmosférica observa la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie y que, por lo tanto, cuando el punto geográfico se encuentra a mayor altura de la superficie terrestre respecto al mar menor es la presión del aire.

Figura 21. Relieve de la zona



Nota: Mapa que muestra el relieve de la zona, en la localidad de San Cristóbal, Bogotá, vinculada a la Quebrada la Nutria. Creación propia, extracto de mapa realizado desde el sistema de información cartográfico Google Earth.

En el presente mapa se distingue el relieve de la zona en que se encuentra la cuenca, además de ello se nota la población urbana que existe en las cercanías. De tal modo, se puede señalar que el tipo de relieve visualizado a través de la SIG, es una formación orográfica,

caracterizada por tener una textura sobresaliente con diversas variaciones en su superficie, por lo cual en la zona estudiada se determina la presencia de valles como accidentes geográficos debido a su forma irregular dentro del ecosistema.

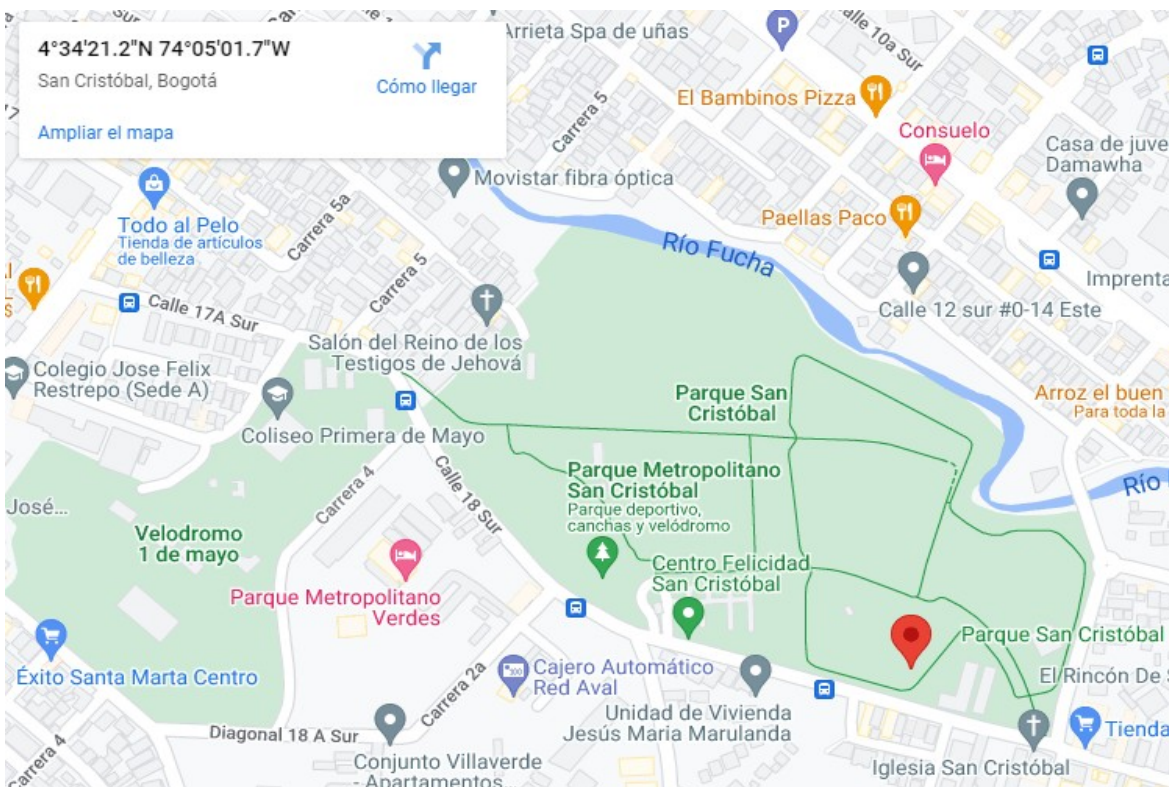
Así mismo, las características únicas de este tipo de relieve estarán directamente relacionadas con los factores atmosféricos que se desarrollan en la zona, tales como el tipo de presión atmosférica y el comportamiento de sus vientos.

Resultados

Acorde con el contexto del desarrollo del presente documento que presenta estudio estadístico en variación en la microcuenca de la Quebrada La Nutria en algunas de las variables que miden estaciones meteorológicas presente en la ciudad de Bogotá D.C., más puntualmente en la estación presente en el área de influencia de San Cristóbal, dando así la discusión de dichos parámetros en el periodo del 2016 al 2021, y además que se pueda dar un análisis de las tendencias de las mismas en la época antecedente a la contingencia sanitaria por Covid – 19 en el 2020, para lo cual se tomaran los datos de referencia de los años 2018 al 2021.

Ubicación (SDA, 2022):

Figura 22. Coordenadas estación de la calidad del aire



Fuente: (Google mapas, 2023)

Estación: San Cristóbal

Altitud (m): 2688

Latitud: 4°34'21.19"N

Zona: Urbana

Longitud: 74°5'1.73"W

Dirección: Carrera 2 Este # 12-78 sur

Para los datos es importante tener en cuenta que estos fueron proporcionados por la Secretaría Distrital de su mecanismo de datos abiertos y mediante contacto vía correo con los profesionales del área y subdirección de calidad del aire, estos registrados día a día durante las 24 horas, permitiendo tener un consolidado de 24 datos por cada día, reflejándose un total de 720 datos para cada uno de los parámetros en un mes compuesto por 30 días, dicha información se corrobora en la Tabla 1 adjunta donde se denota el modelo de base de datos entregado por la institución mencionada.

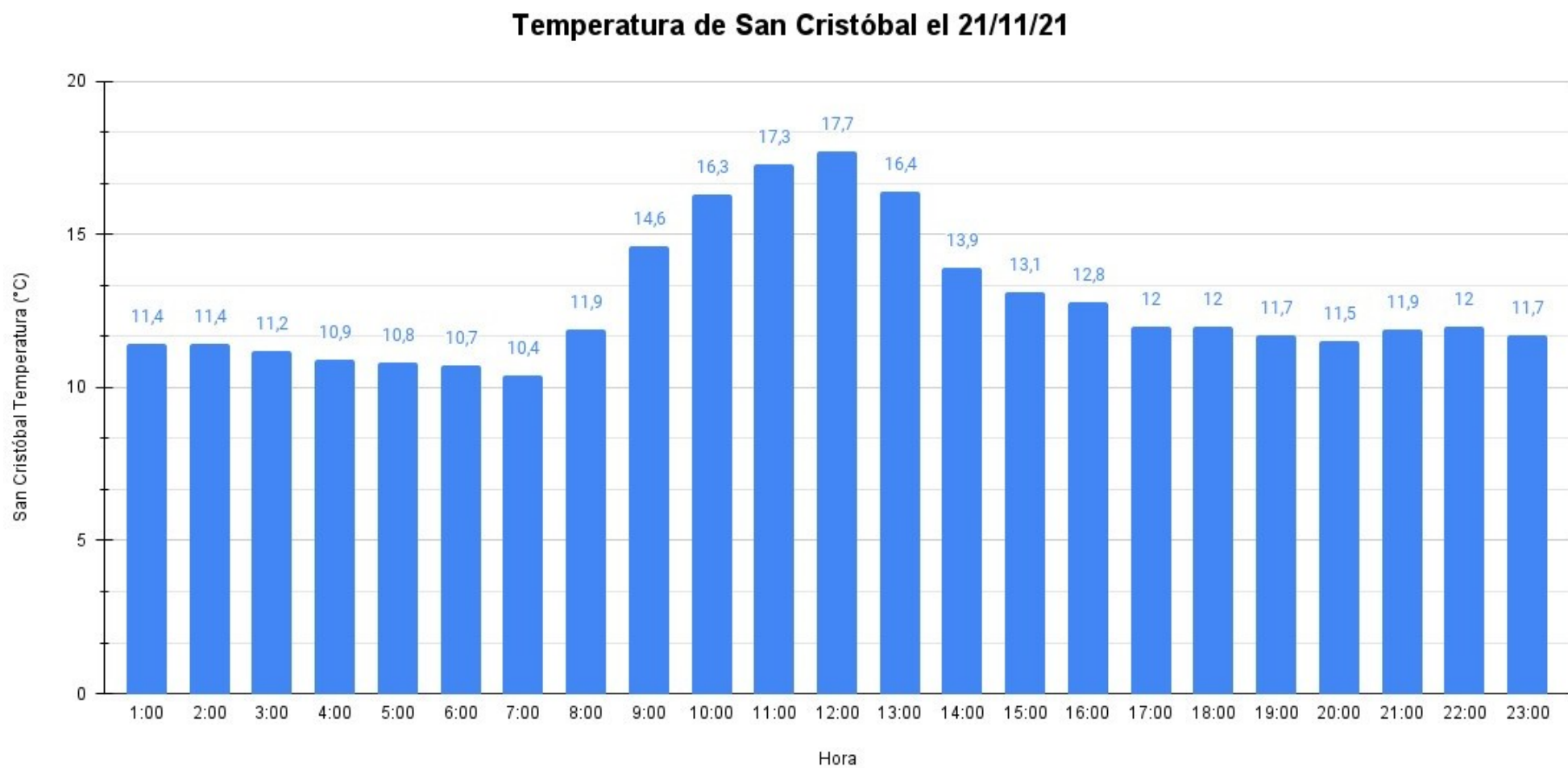
Tabla 1. Medición de hora a hora

Fecha & Hora	San Cristóbal Temperatura (°C)	Variación	Variación %
10/11/2021 1:00	11,4	0,00	0%
10/11/2021 2:00	11,4	0,00	0%
10/11/2021 3:00	11,2	0,20	20%
10/11/2021 4:00	10,9	0,30	30%
10/11/2021 5:00	10,8	0,10	10%
10/11/2021 6:00	10,7	0,10	10%
10/11/2021 7:00	10,4	0,30	30%

10/11/2021 8:00	11,9	-1,50	-150%
10/11/2021 9:00	14,6	-2,70	-270%
10/11/2021 10:00	16,3	-1,70	-170%
10/11/2021 11:00	17,3	-1,00	-100%
10/11/2021 12:00	17,7	-0,40	-40%
10/11/2021 13:00	16,4	1,30	130%
10/11/2021 14:00	13,9	2,50	250%
10/11/2021 15:00	13,1	0,80	80%
10/11/2021 16:00	12,8	0,30	30%
10/11/2021 17:00	12	0,80	80%
10/11/2021 18:00	12	0,00	0%
10/11/2021 19:00	11,7	0,30	30%
10/11/2021 20:00	11,5	0,20	20%
10/11/2021 21:00	11,9	-0,40	-40%
10/11/2021 22:00	12	-0,10	-10%
10/11/2021 23:00	11,7	0,30	30%
Total	293,6	-0,30	-30%

Fuente: (SDA, 2022)

Figura 23. Temperatura de San Cristóbal

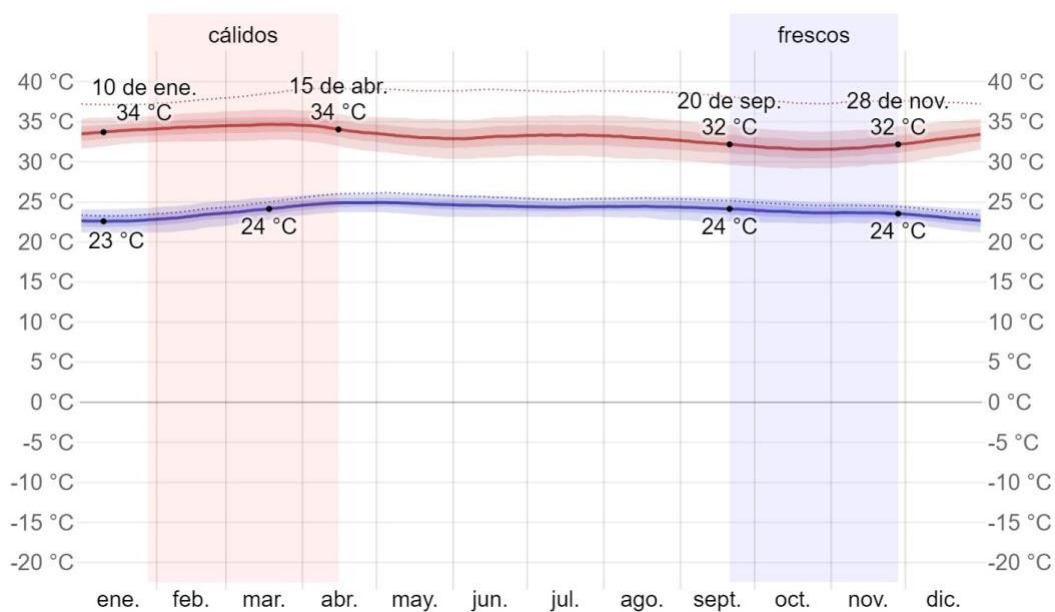


Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Temperatura máxima y mínima de San Cristóbal 2022

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	34 °C	34 °C	35 °C	34 °C	33 °C	33 °C	33 °C	33 °C	32 °C	32 °C	32 °C	33 °C
Temp.	27 °C	28 °C	29 °C	29 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	27 °C	27 °C	27 °C
Mínima	23 °C	23 °C	24 °C	25 °C	25 °C	25 °C	24 °C	24 °C	24 °C	24 °C	24 °C	23 °C

Figura 24. Análisis de la temperatura máxima y mínima de San Cristóbal 2022



En San Cristóbal, la época de precipitaciones es cubierta de nubes, la época sin lluvias es parcialmente nublada y presenta un clima muy caluroso y sofocante.

La temperatura generalmente esta entre 23°C - 35°C, rara vez desciende, el período de alta temperatura se extiende durante 2,6 meses, desde el 28 de enero hasta el 15 de abril, la temperatura máxima supera los 34°C, abril es caluroso San Cristóbal.

Por otro lado, tiene una duración de 2,2 meses, desde el 20 de septiembre hasta el 28 de noviembre, y la temperatura es inferior a los 32 °C. Noviembre es el mes más frío en San

Cristóbal, con una temperatura mínima promedio de 24 °C y una máxima de 32 °C. Acorde con cada uno de los parámetros y aplicando técnicas y modelamientos de la estadística se genera una nueva base de datos a partir de la información ya existente donde se agrupan mediante la función de promedio los datos diarios, permitiendo así obtenerse una medición mensual y a su vez anual, mismos que facilitan el graficar y los análisis estadísticos de cada variables de calidad del aire mencionadas.

Así pues, los respectivos datos para la temperatura medida en °C, la velocidad del viento en m/s, la precipitación en la zona en mm, la radiación solar en W/m², el porcentaje de humedad relativa (HR), y los contaminantes de PM10, PM2.5, monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂). Se presenta a continuación los datos relacionados con la variable de temperatura, misma que se encuentra expresada en escribir unidad de medica °C y que se denota en el periodo de tiempo del 2016 al 2021, para su posterior análisis.

Cabe detallar que, si bien se cuenta con los datos mes a mes de los años mencionados, para el desarrollo del documento se presenta el estadístico de los años 2016 y 2021 como muestra del periodo de tiempo relacionado directamente con el enfoque de la investigación, de los años 2020 y 2021 como muestra para el análisis comparativo en el escenario de la contingencia sanitaria.

Utilizamos la humedad relativa como indicador del nivel de confort esto determina si el sudor se evaporará de la piel, refrescando así el cuerpo, cuando la humedad relativa es baja, se percibe una sensación de sequedad, mientras que cuando es alta, se siente más humedad. A diferencia de la temperatura, que suele experimentar cambios significativos entre la noche y el día, la humedad relativa tiende a variar de forma más gradual. Por lo tanto, aunque la

temperatura descienda durante la noche, en un día húmedo generalmente también se presenta humedad durante la noche.

El grado de humedad determinado por el porcentaje de tiempo que se experimenta incomodidad debido a la humedad, se mantiene relativamente constante a lo largo del año, oscilando entre el 2 % y el 98 %.

Figura 25. Análisis de la humedad de San Cristóbal 2022

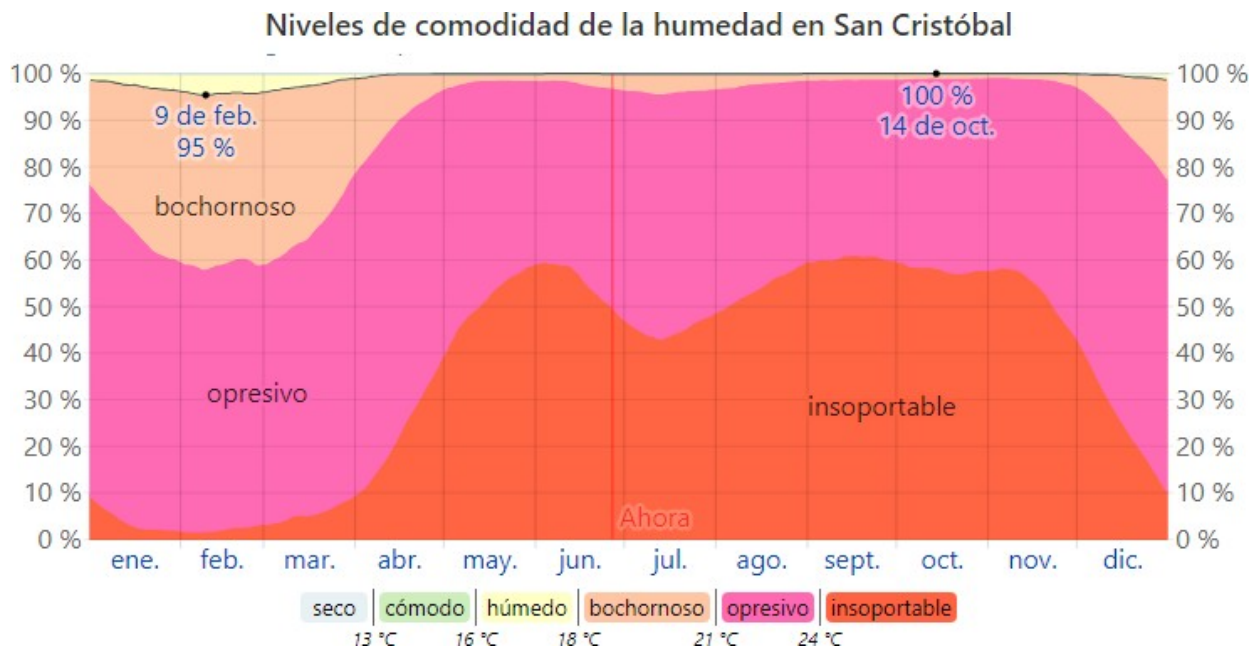
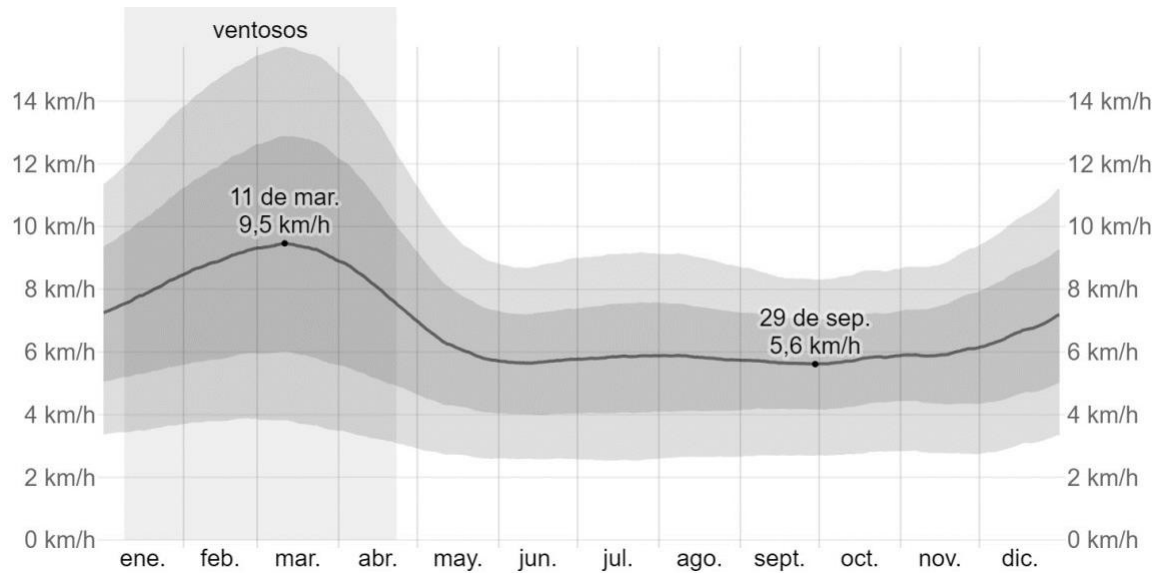


Tabla 3. Viento máximo y mínimo de San Cristóbal 2022

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Vel. del viento (kph)	7.8	8.9	9.3	7.9	6.1	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	6.0	6.7

Figura 26. Análisis del viento de San Cristóbal 2022

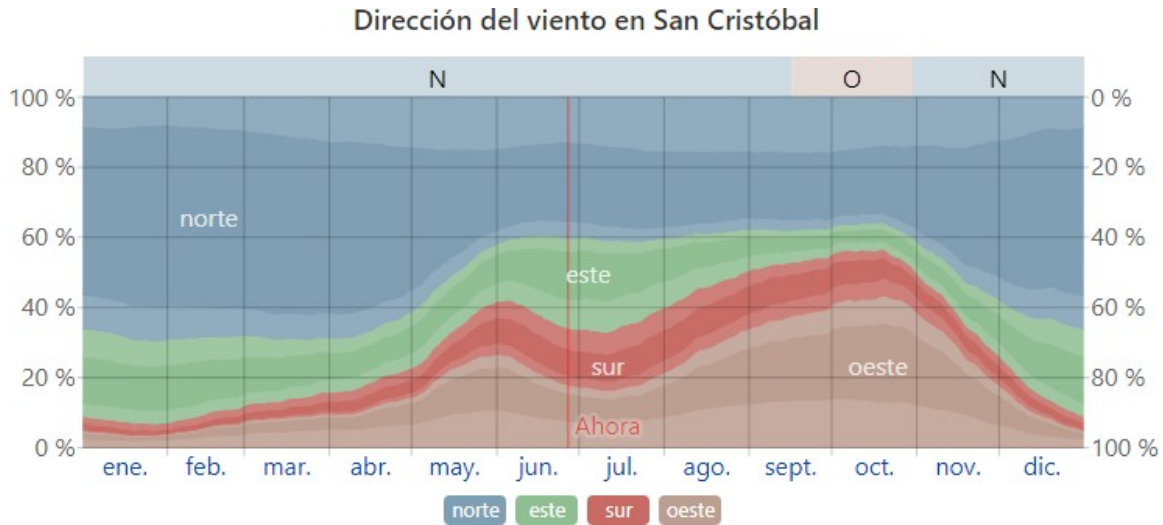


Esta sección describe grandes vectores de viento promediados en el tiempo (velocidad y dirección del viento) a 10 metros sobre el suelo. Los vientos en un lugar en particular están muy influenciados por la topografía local y otros factores, y la velocidad y la dirección del viento en un momento en particular varían más que el promedio por hora.

En San Cristóbal, las velocidades del viento experimentan algunas variaciones estacionales a lo largo del año. El período más ventoso del año es de 3,4 meses, del 9 de enero al 23 de abril, con velocidades promedio del viento superiores a 7,6 mph. Marzo es el mes más ventoso en San Cristóbal, con un promedio de 9,3 mph.

El período más templado del año es de 8,6 meses, del 23 de abril al 9 de enero. Septiembre es el mes más templado en San Cristóbal, con vientos que promedian 5.5 millas por hora.

Figura 27. Análisis de la dirección del viento de San Cristóbal 2022



La dirección predominante promedio por hora del viento en San Cristóbal varía durante el año. Los vientos del oeste son los observados con más frecuencia durante 1,5 meses, del 16 de septiembre al 30 de octubre, y alcanzaron el 44 % el 19 de octubre.

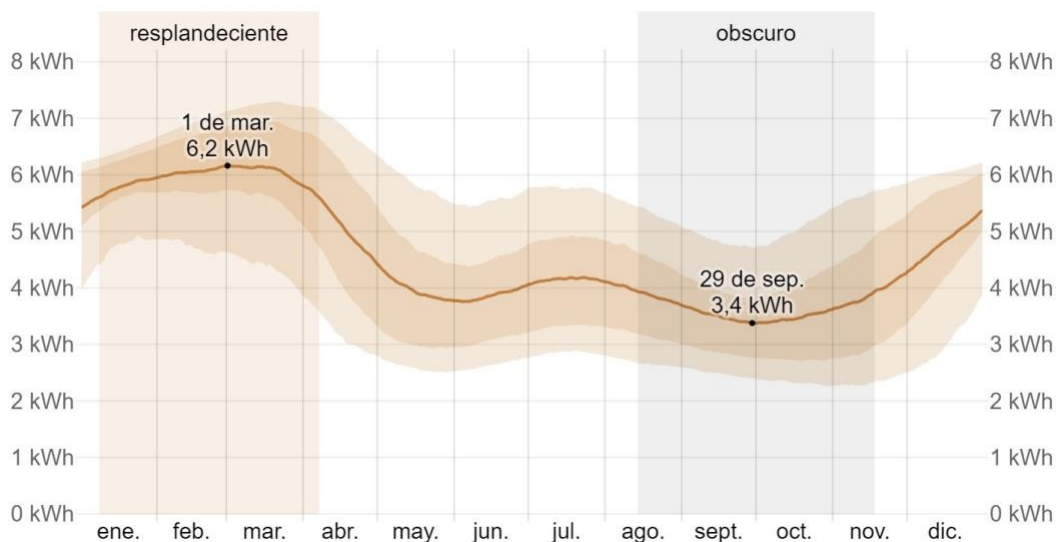
Por otro lado, el viento frecuente del norte durante los 11 meses del 30 de octubre al 16 de septiembre alcanza un máximo del 66% el 1 de enero.

Se muestra el porcentaje de tiempo en que la dirección promedio del viento es desde cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluyendo el tiempo en que la velocidad promedio del viento es inferior a 1,6 km/h. Las áreas brillantes en los límites indican el porcentaje de tiempo pasado en las direcciones intermedias sugeridas (noreste, sureste, suroeste, noroeste).

Tabla 4. Energía solar de San Cristóbal 2022

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Energía solar kWh	5.7	6.1	6.1	5.1	4.0	3.9	4.1	3.9	3.5	3.5	3.9	4.9

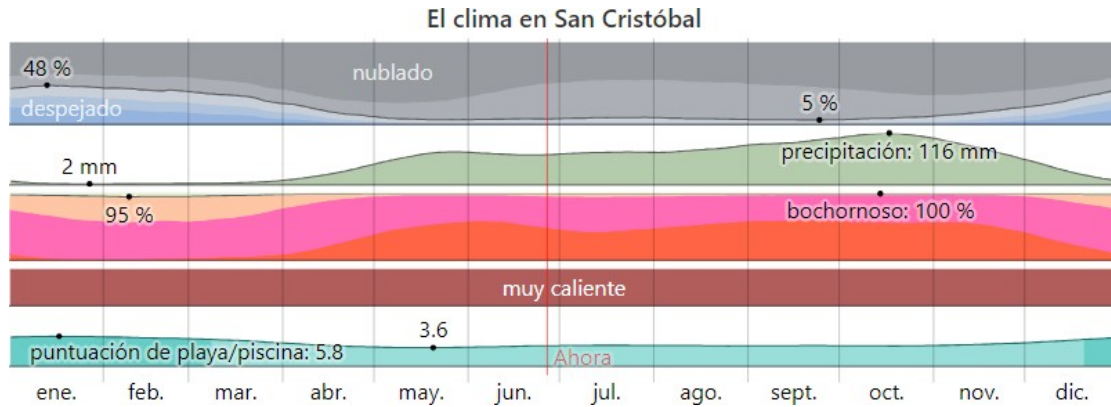
Figura 28. Análisis de la energía solar de San Cristóbal 2022



Esta sección trata de la radiación solar diaria de onda corta que cae sobre la superficie en un área amplia, teniendo en cuenta las variaciones estacionales en la duración del día, la altura del sol sobre el horizonte y la absorción de nubes y otros factores. Esta radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta. La radiación media diaria de onda corta está sujeta a ligeras variaciones estacionales a lo largo del año.

El período más resplandeciente del año es de 3,0 meses, del 8 de enero al 7 de abril, con una energía radiante de onda corta diaria promedio de más de 5,6 kWh por metro cuadrado. El mes más brillante en San Cristóbal es marzo, con un promedio de 6,1 kWh. Mientras tanto, el período más oscuro del año es de 3,1 meses, del 14 de agosto al 17 de noviembre, con una energía radiante de onda corta promedio de menos de 3,9 kWh por metro cuadrado por día. Octubre es considerado el mes más oscuro en San Cristóbal, con un promedio de 3,5 kWh.

Figura 29. Análisis del clima de San Cristóbal 2022



En San Cristóbal, la época de precipitaciones presenta cielos cubiertos, mientras que la temporada seca se caracteriza por una presencia parcial de nubes y un clima muy caluroso y sofocante durante todo el año. A lo largo del año, las temperaturas suelen oscilar entre los 23 °C y 35 °C, siendo poco común que desciendan por debajo de los 21 °C o superen los 37 °C.

Tabla 5. Precipitación de San Cristóbal 2022

Días de	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Lluvia	0,7 días	0,6 días	1,2 días	4,6 días	9,7 días	9,9 días	10,3 días	12,1 días	12,9 días	14,5 días	9,7 días	3,6 días

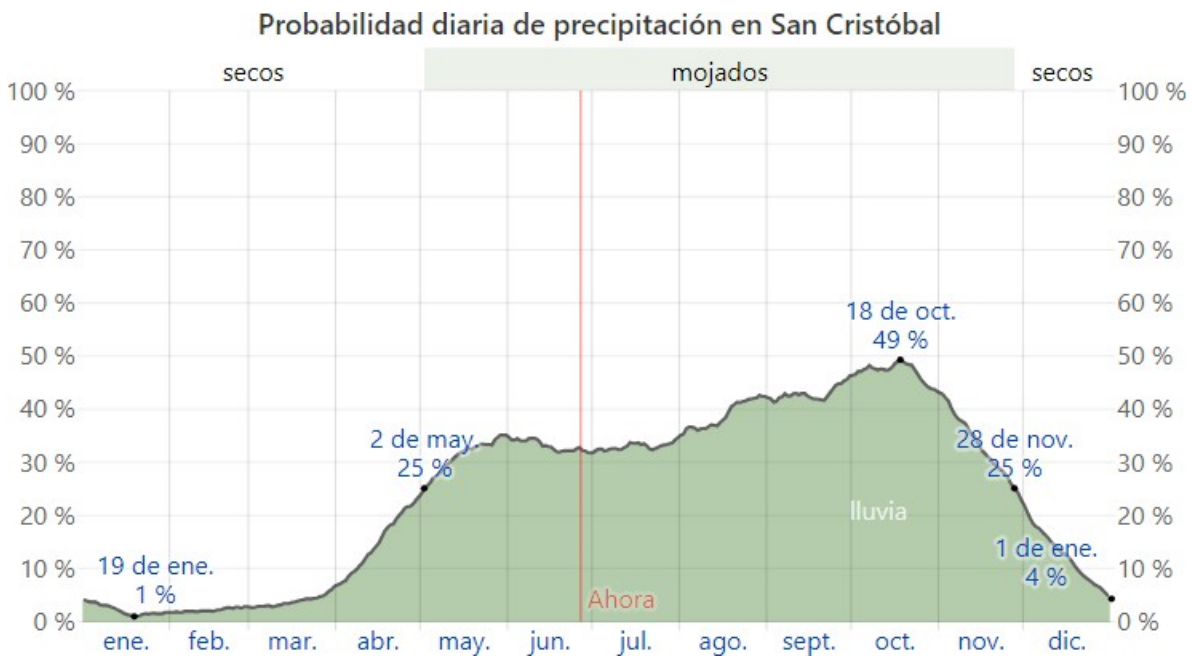
Un día lluvioso es un día en el que se registra al menos 1 milímetro de agua o equivalente en agua de precipitación. La probabilidad de días mojados en San Cristóbal varía muy considerablemente durante el año.

La temporada de lluvias dura 6,8 meses, del 2 de mayo al 28 de noviembre, con un 25 % de probabilidad de lluvia en un día determinado. Octubre es el mes más lluvioso en San Cristóbal, con un promedio de 14,5 días con al menos 1 milímetro de precipitación. La estación

seca, por otro lado, dura 5,2 meses del 28 de noviembre al 2 de mayo, febrero es el mes más seco, con un promedio de 0,6 días de lluvia de 1 mm o más.

Los días lluviosos distinguen entre días con solo lluvia, solo nieve o ambos. Con un promedio de 14,5 días, octubre es el mes más lluvioso solo en San Cristóbal. En base a esta clasificación, lluvia es la única precipitación más común a lo largo del año, con una probabilidad máxima del 49% el 18 de octubre.

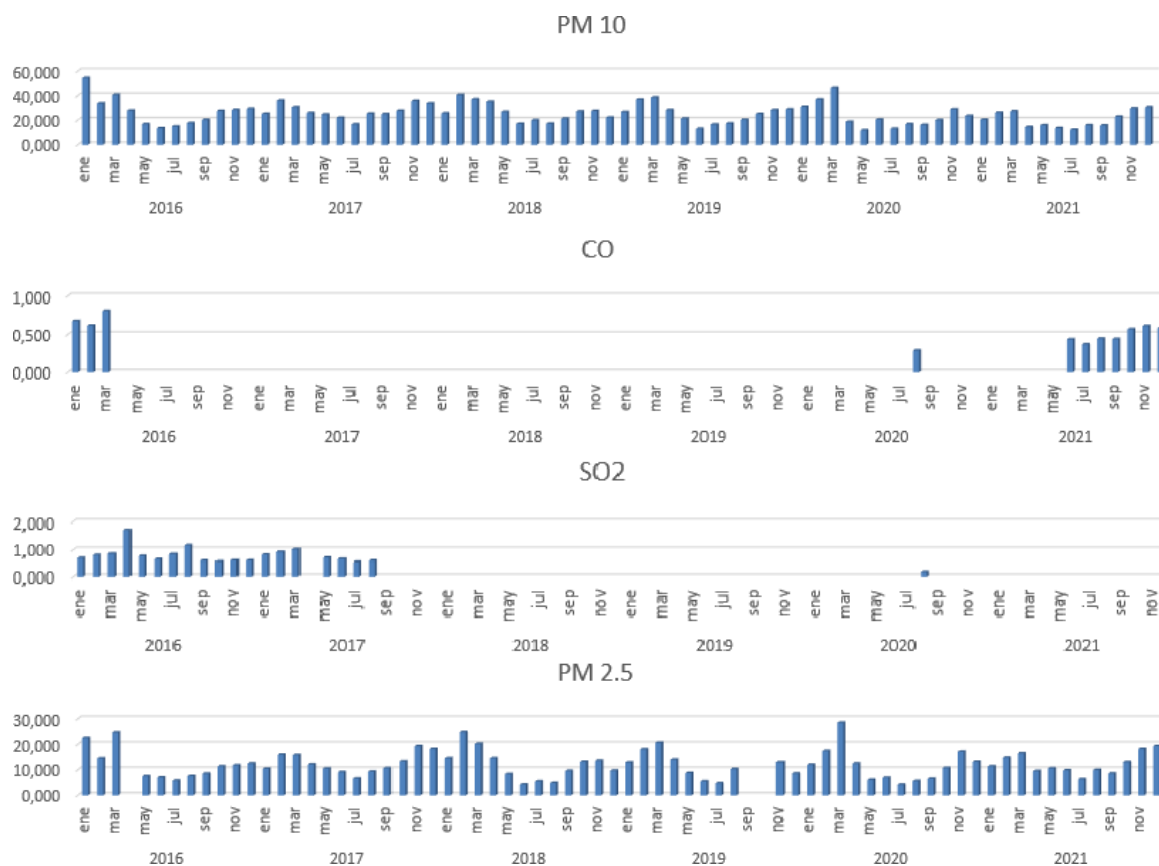
Figura 30. Análisis de las precipitaciones de San Cristóbal 2022



Análisis de resultados

Es fundamental partir de la comprensión de que las variables meteorológicas y las emisiones son los principales causantes de la calidad del aire (García, 2009), si bien las emisiones de diferentes tipos se describieron a grosso modo durante el documento, se procede a denotar una serie de observaciones presentadas en los datos obtenidos para el periodo de tiempo del 2016 al 2021 y a su vez analizando desde un punto de vista técnico en torno al posible cambio de la calidad del aire durante los años de 2020 y 2021, mismos en los que se presentó una recesión productiva y de diversos sectores contaminantes a causa de la contingencia sanitaria global.

Tabla 5. Histórico del Promedio de los Contaminantes Analizados



Fuente: Elaboración propia

En la anterior gráfica se detalla la tendencia basada en los datos obtenidos de los diferentes periodos de tiempo, destacando en general la relación de comportamiento entre estos, principalmente entre el PM_{10} y el $PM_{2.5}$, como es el caso de la oscilación presentada en el periodo de tiempo comprendido entre mayo del 2016 y marzo del 2017, en donde ambos contaminantes presentan un mismo comportamiento, dicho comportamiento similar en el sentido oscilatorio también se puede apreciar en el periodo de enero del 2017 a marzo del 2019; de esta manera se puede resaltar una fluctuación de mayor presencia de los dos contaminantes de San Cristóbal en enero del 2016 y marzo del 2020.

A lo anterior también es importante sumar, que como se evidencia en el gráfico del histórico de PM_{10} se podría enunciar un comportamiento cíclico o repetitivo, dados los periodos de iniciados en julio del 2016 a julio del 2017, así como el de este mismo a julio del 2018 con picos en los meses de enero y febrero, donde se suele tener un alza en los procesos productivos, lo que se puede atribuir así mismo a mayor concentración de contaminantes.

Ahora, relacionando las tendencias evidenciadas en la gráfica y descritas anteriormente, en comparación con el lapso de tiempo del 2020 y 2021 donde se dio una contingencia sanitaria debido a la pandemia por COVID 19, es de destacar que en los contaminantes que se logra apreciar un comportamiento que denota una disminución de la presencia de contaminantes en la zona directa de estudio, exactamente para marzo de 2020, teniendo una radical disminución para abril del mismo año, junto a la tendencia de recuperación de los siguientes 7 meses, en los cuales ya se puede apreciar que al volver a las actividades industriales y el funcionamiento de empresas de una manera normal ya para el mes de noviembre del 2020, vuelve a evidenciarse el alza de la concentración de contaminantes.

Para finalizar esta primera aproximación de análisis y destacando los datos que se lograron recopilar, se muestra una marcada tendencia de alta contaminación en la cual empatan los 4 tipos de contaminantes atmosféricos para el mes de marzo del 2016.

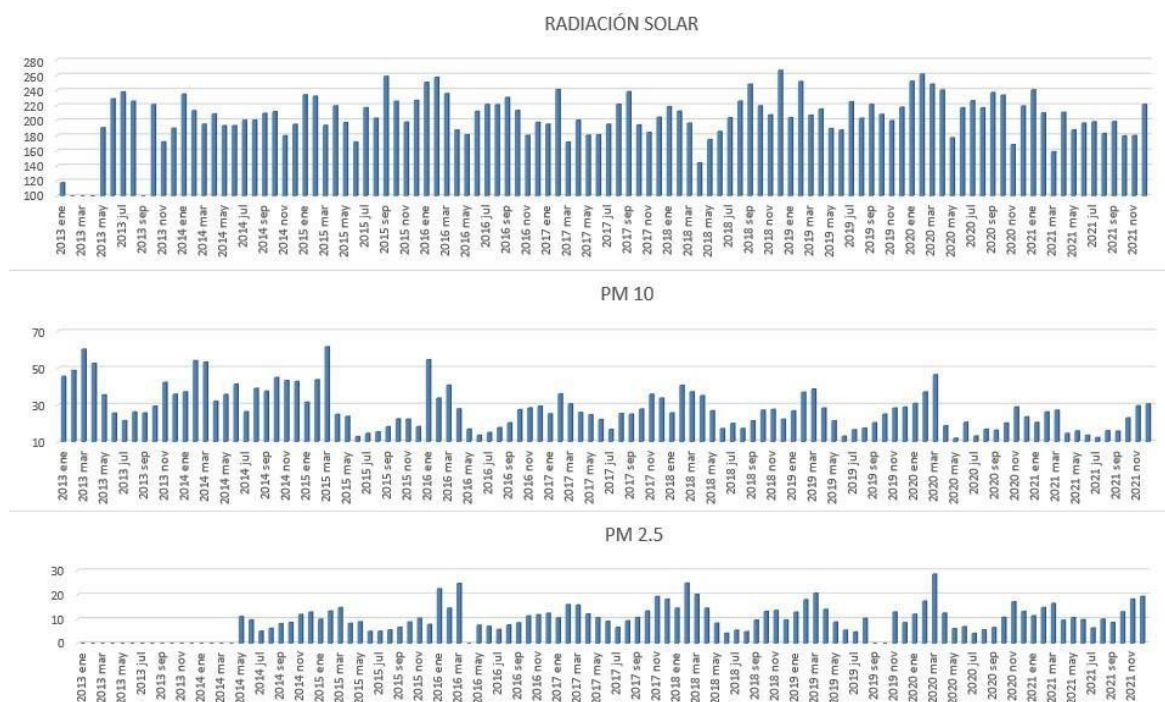
Además, teniendo en cuenta que no todos los contaminantes analizados tienen la misma cantidad de datos y que los aspectos meteorológicos son determinantes para las condiciones de calidad del aire dependiendo de la región y de los diferentes tipos de características que definen un territorio en específico, en este caso el sistema de cerros orientales, se analizan los principales factores meteorológicos (humedad relativa, temperatura, precipitación, radiación solar velocidad del viento), en contraste con la información que se tiene de los contaminantes de PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

Acorde con dicha información es importante destacar que la presencia de materia particulado genera una serie de afecciones en torno a la calidad del aire, pues es precisamente dichas partículas las causantes de afecciones a la salud y en sí mismo al ambiente, debido a los procesos de sedimentación que se puede dar en la aglomeración de las mismas, provocando entre otras situaciones, afecciones y aumento de enfermedades respiratorias, acidificación de zonas hídricas. Un tema importante a mencionar en torno al PM_{10} se retiene en el sistema respiratorio el $PM_{2.5}$ cuentan con capacidad suficiente de pasar a los canales sanguíneos, generando afecciones directas en diversos órganos.

Además de esto en lo que respecta a los contaminantes CO y SO_2 es de destacar que estos se acumulan de manera frecuente en la atmósfera, y por ende influyen en la calidad del aire teniendo en cuenta que resultan en su mayoría de procesos antrópicos como es el caso de las actividades de combustión y que dentro de sus efectos en términos de variables meteorológicas se

puede llegar a producir por el SO₂ la lluvia acida causan daños significativos al ambiente y por ende a los humanos.

Tabla 6. Análisis de Radiación Solar

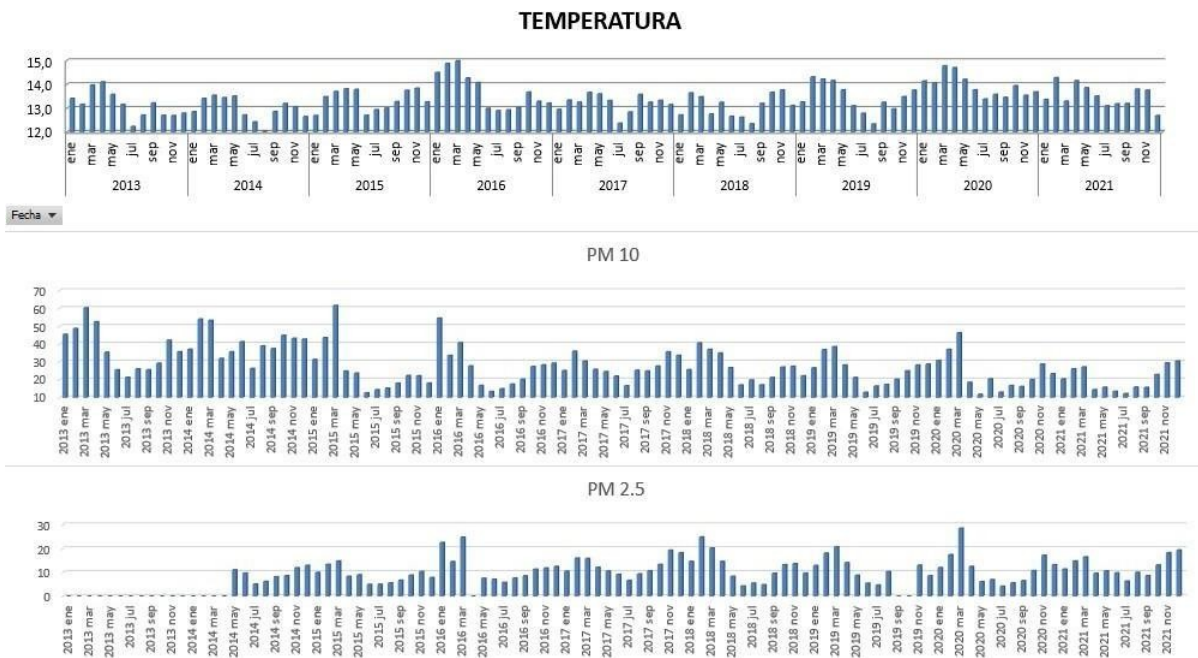


Fuente: Elaboración propia

Para la radiación solar y basado en los datos que se pueden interpretar desde la *Tabla 22*, se evidencia una correlación marcada en algunos meses de los diferentes años analizados, desde los que se aprecia cómo la contaminación generada por las partículas de PM₁₀ y el PM_{2.5}, son susceptibles de cambios relacionados a la radiación solar, como es de evidenciar en los meses de enero y marzo de 2016, misma situación presentada en los meses de marzo de 2017, marzo de 2019 y 2020.

En torno al análisis de la radiación solar y su relación con la calidad del aire y en sí mismo de la acumulación de contaminantes en la atmosfera es de tener en cuenta que comose ha mencionado de manera anterior, es precisamente dicho factor el que permite determinar la dispersión de los contaminantes en el medio, pues cuando la radiación se ve mediada por aumento de nubosidad los rayos no reflejan de manera directa y por tanto a menor dispersión y radiación solar los índices de calidad de aire (Hernández A. , 2013) tienen a ser mayores los normales, y en viceversa, a mayor capacidad de dispersión mediante la radiación solar se presentan una disminución importante en la carga contaminante de la atmosfera.

Tabla 7. Análisis de Temperatura

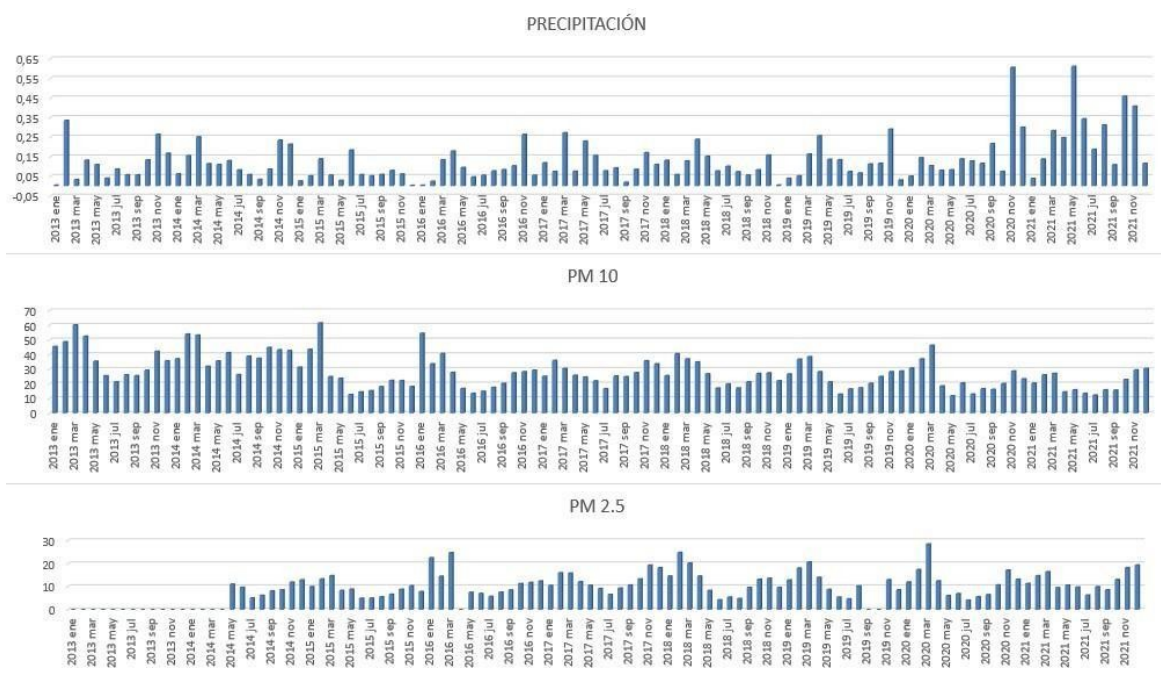


Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la variable meteorológica de la temperatura se evidencia a simple vista la serie de similitudes que llega a contener en el análisis de relación de contaminación por

PM₁₀ y el PM_{2.5} – temperatura, esto explicado mediante la relación que se tiene con la radiación solar, ya que acorde con Forero se estima que los residuos contaminantes en estado gaseoso logran captar radiación ultravioleta proveniente del sol haciendo que aumente la temperatura (Forero et al., 2019), esto es algo que puede apreciarse con gran demarcación por ejemplificar en los meses de enero a marzo de 2016 que termina siendo algo repetitivo en los mismos meses del año 2020.

Tabla 8. Análisis de Precipitación

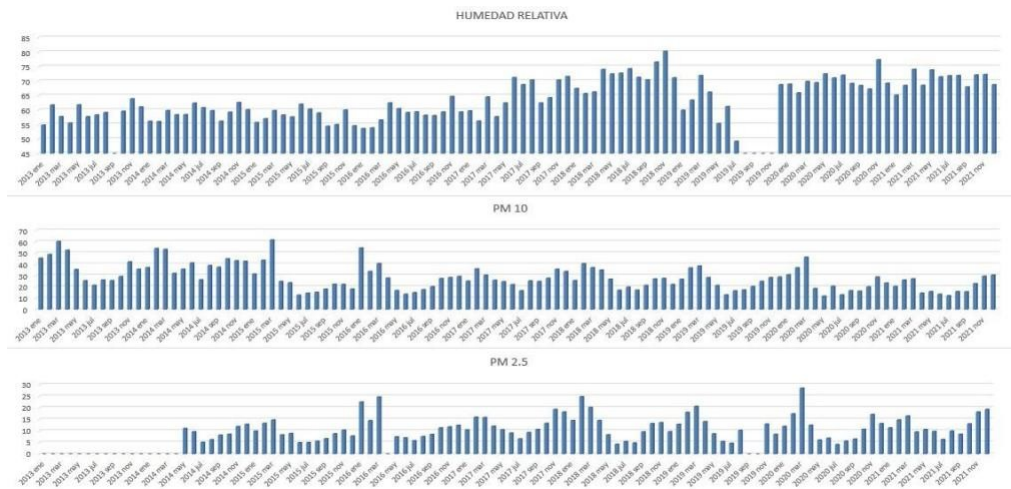


Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el caso de la precipitación, es importante partir de que en el informe de calidad del aire 2007 - 2010 del IDEAM, se aclara que las precipitaciones afectan la concentración de contaminantes atmosféricos, ya que genera un lavado atmosférico que se puede presentar en el caso de las partículas suspendidas (IDEAM, 2012). Teniendo como base este análisis del IDEAM y lo mismo que se denota en los datos de los diferentes meses, se evidencia

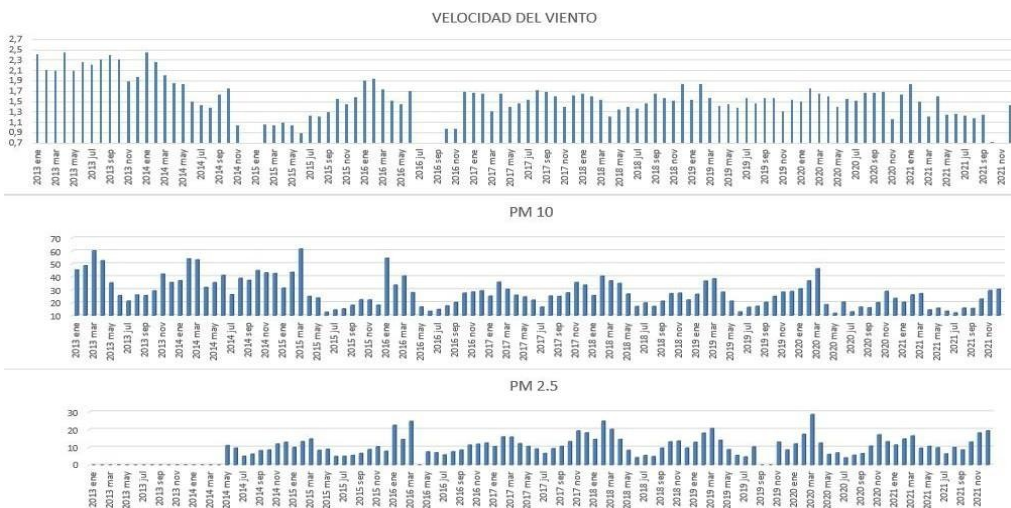
queen varios de estos meses que la relación es inversamente proporcional en algunos casos, ya que en picos de lluvia se logra detallar la disminución de contaminación y viceversa.

Tabla 9. Análisis de Humedad Relativa



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Análisis de Velocidad del Viento



Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con la variable meteorológica de la humedad relativa en la *Tabla 10*, aunque se considera como una de las que tienen menor incidencia en la calidad del aire, se evidencian unos picos de humedad relativa que generan una correlación como lo es en el mes de noviembre de 2018, de junio a agosto de 2017, lo cual termina siendo un análisis que abre la discusión hacia las diferentes fronteras y ámbitos en los que puede ser analizado este fenómeno meteorológico.

Lo anterior teniendo en cuenta que los valores de dicho factor influyen en relación con la calidad del aire, teniendo en cuenta que a niveles altos el medio o en sí mismo el ambiente se encuentra saturado y por ende no se desarrolla el proceso de evaporación, permitiendo que los contaminantes atmosféricos se aglomeren en un mismo sitio y que por ende los índices de calidad de aire empeoren, situación que cambia cuando la humedad relativa es baja, lo que significa que el proceso de evaporación se puede dar más rápidamente y dispersando con esto la carga de material particulado.

Además, en lo que respecta a la velocidad del viento, desde la teoría y mediciones realizadas se ha demostrado que es uno de los factores meteorológicos que más influencia tiene con la contaminación atmosférica, caso que se repite en la Localidad de San Cristóbal, siendo más puntuales en para este caso, en la Quebrada La Nutria. Según un estudio titulado “Análisis del Estado de la Calidad del Aire en Bogotá”, el aire es como se mencionó anteriormente, el fenómeno meteorológico con mayor incidencia en la disminución de la contaminación, para este análisis desde el PM_{10} y el $PM_{2.5}$, se cumple con que a mayor velocidad del viento la concentración del material particulado es menor (Gaitán et al., 2017). Teniendo de precedente lo mencionado anteriormente y el análisis realizado a los datos correlacionados, se evidencia que, en varios picos de velocidad de aire alto, coincide con la disminución de la misma contaminación, y que por el contrario en los meses donde se dio una medición baja en lo que

respecta a la velocidad del viento se denota una mayor concentración de los contaminantes, debido a que no se tiene un proceso de dispersión.

Ahora bien, también se hace importante desarrollar un análisis en relación con la influencia que tiene las variables relacionadas con la calidad del aire y el estado actual de la microcuenca de la Quebrada La Nutria ubicada en la localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C., partiendo de que uno de los factores que afecta directamente la zonificación ambiental de la cuenca y en sí mismo la calidad del aire de la zona en donde se ubicada la misma ha presentado un aumento en la expansión urbana debido a la situación de crecimiento poblacional que se viene presentado en los últimos años y que también se da un aprovechamiento masivo de los recursos bióticos que presenta la microcuenca.

Es precisamente ese aprovechamiento de recursos de manera acelerada la que acrecienta que la calidad del aire pueda verse afectada, pues los recursos en términos de biodiversidad o aprovechamiento vegetal el que produce que las variables meteorológicas tengan un cambio de interés, sobre todo en relación a la radiación solar directa, la humedad relativa y la precipitación, esto teniendo en cuenta que la afección de los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema lleva consigo afectaciones en los ciclos biológicos como el del agua, en donde el proceso de evaporación y precipitación favorecen que la calidad del aire sea mejor al dar la dispersión del contaminante.

Así mismo, en el análisis de los factores meteorológicos con la microcuenca de la quebrada la nutria, existe una situación particular en donde se evidencia una mejora en términos de calidad del aire, y es que como se comentó en el contexto geográfico en la localidad de San Cristóbal en épocas pasadas se presentaba acumulación de material particular debido a las

actividades de las ladrilleras ubicadas en la zona, mismas que han presentado cierres y desmontes por cambios y/o clausuras de la actividad.

Finalmente, otra variable que es importante tener en cuenta es que la quebrada La Nutria colinda con los cerros orientales, situación que permite que la calidad del aire tengan mejores índices en términos de calidad ambiental, debido a que en dicha ubicación aumentan las corrientes de aire y por su parte, algunas especies vegetales cuentan con la capacidad de adsorción de contaminantes criterio como es el caso del CO₂, usado en su proceso de fotosíntesis y permitiendo reducir el impacto que produce dichos gases en la atmósfera.

Discusión

La contaminación del aire es un problema ambiental global, cuyo principal impacto afecta la salud humana y el bienestar general de la atmósfera del planeta. Tenga en cuenta que las estadísticas mundiales muestran que aproximadamente 7 millones de personas mueren prematuramente por causas directamente relacionadas con la calidad del aire debido a una ingesta inadecuada de alimentos, y el 88% de estas muertes ocurren en países de ingresos bajos y medios.

Al llegar a Bogotá, no hay duda de que las presiones industriales y las fuentes móviles que se mueven a diario tienen un impacto significativo en la calidad del aire de la ciudad. Por la misma razón, el hospital ha recibido varias alertas amarillas, y los recientes incendios forestales en las regiones de Guaviare y Orinoquia arrojaron material particulado y afectaron la calidad del aire capitalino, provocando una severa contaminación atmosférica en la ciudad que estaba sufriendo (Rodríguez, 2022).

Según un estudio de 2022 de la Universidad de Los Andes, la calidad del aire de San Cristóbal no es tan mala en comparación con Ciudad Bolívar, Kennedy y Bosa, pero la calidad del aire está clasificada como moderada y la gente es muy sensible para el esfuerzo físico excesivo y prolongado al aire libre (Bonilla, 2021).

Por otra parte dicha localidad, por la cual atraviesa la Quebrada La Nutria, no es la zona con mayor cantidad de empresas registradas, pues se estima que para el 2020 representan cerca del 2,1%, que equivale a 18.285 empresas de 865.000 aproximadamente presentes en toda la ciudad, según el boletín estadístico sobre la dinámica empresarial de la (Alcaldía de Bogotá, 2019), por lo cual, este es uno de los factores que llega a explicar el moderado desempeño en

calidad del aire a comparación de otras localidades aún con peor desempeño como las mencionadas anteriormente.

Por otra parte, Las relaciones que existen entre las variables meteorológicas y la calidad del aire han sido históricamente estudiadas en todo el mundo. El propósito de la investigación ambiental es comprender las relaciones entre estos y sus interacciones para poder reproducir escenarios futuros y mitigar impactos, es la aplicación de la ciencia al aire como recurso vital (Forero et al., 2019).

También se debe tener en cuenta que la afectación a la calidad del aire no es algo que afecte meramente al medio ambiente, por lo que es importante analizar y correlacionar las variables meteorológicas de estudio como lo son la velocidad y dirección del viento, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, y la temperatura; en el caso puntual del presente documento se cuenta con la base de datos de la estación de monitoreo de la localidad de San Cristóbal, dándose así un análisis en torno a las correlaciones que se llegan a evidenciar.

Conclusiones

Se pudo identificar un impacto generado por las emisiones de material particulado en la zona de la cuenca y las afectaciones que causan en la sociedad que forma parte de la microcuenca; esto se debe a la contaminación atmosférica generada por las fuentes móviles que circundan la periferia, así mismo se puede destacar la polución por fuentes fijas, canteras generadoras de material suspendido que terminan siendo transportado por corrientes de aire de otras localidades.

Es pertinente socializar con la comunidad estrategias para el mejoramiento de la calidad del aire en la microcuenca y tomar acciones como, asilamiento o cierre de las fuentes generadoras de materiales contaminantes, al igual que los controles que se deben ejercer por las autoridades ambientales competentes sobre las canteras y áreas destinadas a las extracciones de materiales para construcción.

Se logra demostrar los daños causados durante el tiempo que se toma para realizar el diagnóstico y plantear estrategias que pueda ayudar a mitigar los impactos ambientales en el aire de la microcuenca y evitar que las personas tengan problemas de salud mayores que incluso pueden llegar al fallecimiento de las personas que ya traen ciertas predisposiciones de problemas respiratorios.

Factores que interfieren en Se evidencia que las temporadas de sequía y verano han desencadenado incendios forestales en las periferias, también contribuyendo al aumento de material suspendido, que afectan la calidad del aire de la microcuenca deteriorando sustancialmente la calidad de vida de los habitantes que conforman el área de estudio.

Se considera que por la situación se debe radicalizar las actividades humanas, puesto que estas son las que mayor polución y partículas liberan; además de esto pensar en una solución respecto a los sistemas de transporte para liberar áreas, asimismo crear sistemas de purificación y filtración para mejorar la calidad del aire; respecto a la microcuenca y a todos los cuerpos de agua trazar un plan de acción para que las personas, fábricas, u otros no sigan contaminando estos y el ciclo se siga repitiendo. Cabe resaltar que son muchas estrategias para tomar en cuenta y que no son de un día para otro, que se deben hacer muchos más estudios sobre la situación y las posibles soluciones a esto.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Bogotá. (2017). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de:

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=28033&cadena=>

Alcaldía de Bogotá. (2019). Boletín Estadístico Dinámica Empresarial de Bogotá. *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de: <https://www.sdp.gov.co/system/tdf/repositorio-dice/dice201-dinamicaempresarial30092019.pdf?file=1&type=node&id=21656&force=1>.

Bedoya, J. M. (2008). Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia- Colombia. . *Revista virtual Scielo*. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a01v76n158.pdf>

BOE. (2008). Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Agencia estatal Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>

Bonilla, J. (2021). Análisis de desigualdades múltiples y políticas de reducción de la contaminación. *Universidad de los Andes - Facultad de Economía*. Obtenido de: <https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/publicaciones/discambiente/Discusion%20sobre-Ambiente-para-el-Desarrollo-No.5.pdf>

Cabra, H. (2019). Evaluación de los sistemas eco sistémicos de la quebrada las delicias, ubicada en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá. *Universidad cooperativa de Colombia*. Obtenido de: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/19-CabraSantos-Informe_ServiciosEcosistemicos%20%281%29.pdf

European Union. (2013). Cada vez que respiramos. *Agencia Europea de Medio Ambiente*. Obtenido de: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/cada-vez->

ciudades con problemas de contaminación. *Universidad de Antioquia*. Obtenido de:
http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/14402/1/HernandezMarian_2019_EstrategiasMejoramientoAire.pdf

Hernández, A. (2013). Hoja metodológica del indicador Índice de Calidad del Aire - ICA (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. *Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios. IDEAM*. Obtenido de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/641368/2.01+HM+Indice+calidad+aire.pdf/>

Hernández, M. (2012). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de Pinar del Río. *Revista virtual Scielo*. Obtenido de:
<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/RmhtTLLB3VNG3NQFyC3pVrD/?format=pdf&lang=es>

IDEAM. (2012). Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007 – 2010. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>

IDEAM. (2021). Calidad del aire. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire#:~:text=CALIDAD%20DEL%20AIRE%20%2D%20IDEAM&text=En%20Colombia%2C%20el%20monitoreo%20y,por%20la%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire>

MAVDT. (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire Vivienda y Desarrollo Territorial*. Obtenido de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+se>

guimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88

MinAmbiente. (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de:

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+se>

guimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88

Moraga, F. (2012). Catabática: cartografías de subjetividades fronterizas*. pp. 47-59.

Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-

58112012000200004

OMS. (2021). Contaminación del aire. *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de:

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Pachón, J. (2016). La experiencia de Bogotá. *Universidad de La Salle*. Obtenido de:

<http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

Posada et al., E. G. (2017). Análisis comparativo y modelación de las situaciones de calidad del aire en una muestra de ciudades del mundo comparación con el caso de Medellín.

Revista El Poli. Obtenido de: <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1138>

Querol, X. (2018). La calidad del aire en las ciudades. *Fundación Gas Natural Fenosa*.

Obtenido de: <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

Rodríguez et al., L. S. (2019). Análisis Especial de las concentraciones de PM en Bogotá, según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para

Enfermedades cardiopulmonares 2014 2015. *Revista virtual Scielo*. Obtenido de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v40n1/0120-4157-bio-40-01-137.pdf>

Rodríguez, D. (2022). Los niveles de calidad del aire en Bogotá y su dinámica desigual entre localidades. *Periódico La República*. Obtenido de:

[https://www.larepublica.co/saludejecutiva/los-niveles-de-calidad-del-aire-en-bogota-y-su-dinamica-desigual-entrelocalidades-](https://www.larepublica.co/saludejecutiva/los-niveles-de-calidad-del-aire-en-bogota-y-su-dinamica-desigual-entrelocalidades-3323686#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20arroja%20que%20las,Ciudad%20Bol%C3%ADvar%2C%20Bosa%20y%20Kennedy)

[3323686#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20arroja%20que%20las,Ciudad%20Bol%C3%ADvar%2C%20Bosa%20y%20Kennedy](https://www.larepublica.co/saludejecutiva/los-niveles-de-calidad-del-aire-en-bogota-y-su-dinamica-desigual-entrelocalidades-3323686#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20arroja%20que%20las,Ciudad%20Bol%C3%ADvar%2C%20Bosa%20y%20Kennedy)

Rojano, R. P. (2012). Efecto de la humedad relativa en la determinación de PM10 utilizando un DataRam 4, en una zona costera de Colombia. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 204 - 212. Obtenido de:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025407702012000200010&lng=es&nrm=iso

Rus, E. (2020). Investigación mixta. *Revista economipedia*. Obtenido de: <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-mixta.html>

SDA. (2022). Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. *Secretaría Distrital de Ambiente*. Obtenido de:

<https://ambientebogota.gov.co/estaciones-rmcab>

SIATA. (2017). ¿Cómo afecta la disminución de la radiación la calidad del aire en el Valle de Aburrá? *Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá*. Obtenido de:

https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/noticia11#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20que%20llega,los%20contaminantes%20en%20la%20atm%C3%B3sfera

UlaOnline. (2017). Investigación Exploratoria: Fundamentos básicos. *Revista de prácticas profesionales ULA*. Obtenido de:

<http://practicaprofesionales.ula.edu.mx/documentos/ULAONLINE/Maestria/MAN/HRM>

558/Publicaci%C3%B3n/Semana_3/Estudiante/HRM558_S3_E_Inv_explo.pdf

Valdivia, E. (2021). Calidad del agua de la quebrada Azungue y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del sector Shango de la ciudad de Moyobamba. *Universidad San Martín*. Obtenido de:

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/4269/ING.%20SANITARIA%20-%20Edith%20Valdivia%20Lucana.pdf?sequence=1>

Venegas, L. &. (2017). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. *Revista virtual AERO*. Obtenido de:

<http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas%20congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf>

Zapata, A. (2014). Humedales artificiales, una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la nutria de los cerros orientales de Bogotá, D.C. *Universidad de Manizales*. Obtenido de:

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/1930/Zapata_Palacio_Aura_Raquel_2014.pdf?sequence=1#:~:text=A%20lo%20largo%20de%20sus,generadas%20por%20los%20habitantes%20rivere%C3%B1os.%20