



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE

TESIS

**EVALUACIÓN DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO A
PARTIR DE MATERIAL PARTICULADO EN EL
DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

AUTOR:

Br. JUAN JOSE ZUÑIGA NEGRON

ASESOR:

Dr. MAXWELL SAMUEL RADO CUCHILLS

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7848-7926

FINANCIADO POR FONDECIT

CIENCIACTIVA - UNSAAC

CUSCO-PERÚ

2023



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor DR. MAXWELL SAMUEL RADO CUCHILLES
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada:

EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO A
PARTIR DE MATERIAL PARTICULADO EN EL DISTRITO
DE SAN JERÓNIMO - CUSCO

Presentado por: JUAN JOSÉ ZÚÑIGA NEGRÓN DNI N° 23989604 ;
presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de MAESTRO EN CAMBIO
CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE

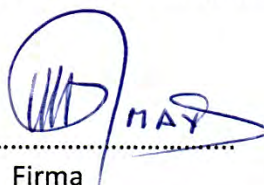
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 01 de JULIO de 2026.....


Firma

Post firma MAXWELL SAMUEL RADO CUCHILLES

Nro. de DNI 23984371

ORCID del Asesor 0000-0002-7843-7926

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:598529866

tesis final ZUÑIGA NEGRON Juan Jose.docx

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:old:::27259:598529866

176 páginas

Fecha de entrega

8 jun 2026, 6:46 p.m. GMT-5

36.510 palabras

Fecha de descarga

8 jun 2026, 10:16 p.m. GMT-5

210.485 caracteres

Nombre del archivo

tesis final ZUÑIGA NEGRON Juan Jose.docx

Tamaño del archivo

19.3 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAID DEL CUSCO

Dr. Maxwell Samuel Rado Cuchillas
COD. ORCID: 0000 0002-73487926

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAYO DEL CUSCO

Dr. Maxwell Samuel Rado Cuchills
COD. ORCID: 0000 0002-78487326



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA DE POSGRADO

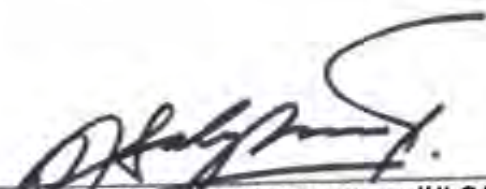
Paraninfo Universitario 2do. Piso - Telefax (051 - 084 - 231751) Email: Posgrado@unsaac.

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dr. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Director (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **"EVALUACIÓN DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO A PARTIR DE MATERIAL PARTICULADO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO."**, del Br. JUAN JOSE ZUÑIGA NEGRON. Hacemos de su conocimiento que el sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el jurado el día **TREINTA Y UNO DE ENEREO DEL 2023.**

Es todo cuanto informamos a usted a fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

Cusco, 04 de junio del 2026



Dr. MARIANO ANDRÉS SAL Y ROSAS JULCA
Primer Replicante



Mg. NELSON QUISPE GUTIERREZ
Segundo Replicante



Mg. ARTURO ZUÑIGA BLANCO
Primer Dictaminante



Mg. NILTON MARIANO MONTOYA JARA
Segundo Dictaminante

Dedicatoria

Para mis padres Amílcar y Dulia, mis hermanas Friné y Ana María por su soporte durante esta formación profesional y personal.

A mi esposa Sulema e hijos: Sergio, Samir e Israel, quienes me han animado permanentemente a integrar innumerables proyectos, convirtiéndose en el mejor equipo consultor.

Agradecimiento

Al director del “Centro de Investigación de Cambio Climático y Gestión Ambiental (CICCGA) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco”, quien me permitió desarrollar esta tesis en el marco del proyecto “Influencia de contaminantes atmosféricos en la formación de lluvia ácida y periodicidad de las precipitaciones en la provincia del Cusco 2018 - 2020”.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 Situación problemática	19
1.2 Formulación del problema	19
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos	19
1.3 Justificación de la investigación	19
1.4 Objetivos de la investigación	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	21
2.1 Bases teóricas	21
2.1.1 Concepto de atmósfera.....	21
2.1.2 Definición de aire	21
2.1.3 La atmósfera	22
2.1.4 Fuentes de Contaminación	24
2.1.5 Tipos y clasificación de contaminantes atmosféricos.....	27
2.1.6 Contaminantes del aire	29

2.1.7 Características del MP	34
2.1.8 Carbono Negro (BC)	43
2.1.9 Transporte de contaminantes atmosféricos	53
2.1.10 Características del distrito San Antonio.....	57
2.2 Marco conceptual	58
2.3 Antecedentes empíricos de la investigación (estado del arte).....	62
2.4 Hipótesis.....	63
2.4.1 Hipótesis general	63
2.4.2 Hipótesis específicas	63
2.5 Operacionalización de variables.....	64
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	67
3.1 Ámbito de estudio.....	67
a. Localización política	67
b. Localización geográfica.....	67
3.2 Puntos de monitoreo	69
3.2.1 Punto de monitoreo 1: Pillao Matao	69
3.2.2 Punto de monitoreo 2: Los Trigales	70
3.2.3 Punto de monitoreo 3: Sucso Aucaylle	71
3.2.4 Punto de monitoreo 4: Urb. Constructores - San Jerónimo.....	72
3.3 Tipo de investigación.....	73
3.4 Unidad de análisis	73
3.5 Población de estudio	73
3.6 Tamaño de muestra	73
3.7 Técnicas de selección de muestra	74
3.8 Técnicas de recolección de información.....	74

3.9	Procedimiento de medición	77
3.10	Técnicas de análisis e interpretación de la información	82
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		84
4.1	Procesamiento del monitoreo de PM _{2.5}	84
4.1.1	Monitoreo ambiental.....	84
4.1.2	Procesamiento meteorológico.....	94
4.1.3	Velocidad del viento	95
4.1.4	Dirección del viento.....	100
4.1.5	Generación de mapas de viento	106
4.1.6	Generación de rosas de viento	108
4.1.7	Análisis del carbono negro, San Jerónimo.....	110
4.1.8	Análisis de resultados Purple Air, San Jerónimo	112
4.1.9	Interpretación de la relación del PM _{2.5} y BC.....	114
4.2	Prueba de hipótesis.....	116
4.3	Presentación de resultados	119
4.3.1	Comparación de resultados	148
4.4	Discusión de resultados	150
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		154
REFERENCIAS.....		157
Anexo 1. Matriz de consistencia.....		163
Anexo 2. Instrumentos de recolección de información		164
Anexo 3. Reporte de datos de material particulado.....		165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de la atmósfera.....	23
Tabla 2 Estándares Nacionales de Calidad de Aire (ECA) en Perú.....	42
Tabla 3 VI: Concentración de material particulado PM _{2.5}	64
Tabla 4 VD: Concentración de carbono negro (BC).....	65
Tabla 5 Operacionalización de variables	66
Tabla 6. Identificación de los puntos de monitoreo	68
Tabla 7 Datos para la ficha técnica.....	75
Tabla 8 Técnicas de recolección de datos	76
Tabla 9 Procedimiento toma datos en filtro de teflón	79
Tabla 10 Características generales del filtro de PM _{2.5}	80
Tabla 11 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 01, mayo-agosto, 2019.....	84
Tabla 12 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 02, mayo-agosto, 2019.....	85
Tabla 13 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 03, mayo-agosto, 2019.....	86
Tabla 14 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 04, mayo-agosto, 2019.....	87
Tabla 15 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 01, mayo-agosto, 2020.....	88
Tabla 16 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 02, mayo-agosto, 2020.....	90
Tabla 17 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 03, mayo-agosto, 2020.....	91
Tabla 18 Material particulado PM _{2.5} (µg/m ³) de área 04, mayo-agosto, 2020.....	92
Tabla 19 Estandarización de estaciones meteorológicas	94
Tabla 20 Análisis estadístico diario de PM _{2.5}	116
Tabla 21 Análisis estadístico mensual de PM _{2.5}	116
Tabla 22 Cálculo estadístico para la hipótesis - PM ₁₀	117
Tabla 23 Cálculo estadístico para la hipótesis - PM _{2.5}	118

Tabla 24 Cálculo de BC en filtros colectados.....	122
Tabla 25 Concentración final estimada de BC a partir de PM _{2.5}	122
Tabla 26 Concentración total de BC (µg de BC/m ³) a partir de PM _{2.5} , 2019	123
Tabla 27 Proporción másica entre BC y PM	123
Tabla 28 Símbolo y significado	123
Tabla 29 Punto PM _{2.5} , 2019	124
Tabla 30 BC estimado por punto, 2019	125
Tabla 31 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} en el punto 1, mayo-agosto, 2019.....	125
Tabla 32 Relación PM _{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2019	127
Tabla 33 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} , punto 2, mayo-agosto, 2019	128
Tabla 34 Relación PM _{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2019	129
Tabla 35 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} , punto 3. mayo-agosto, 2019	130
Tabla 36 Relación PM _{2.5} y BC, punto 3. mayo-agosto, 2019	131
Tabla 37 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} , punto 4. mayo-agosto, 2019	132
Tabla 38 Relación PM _{2.5} y BC punto 4. mayo-agosto, 2019	134
Tabla 39 Concentración total de BC (µg de BC/m ³) a partir de PM _{2.5} , 2020	136
Tabla 40 Punto PM _{2.5} , 2020	136
Tabla 41 BC estimado por punto, 2020	136
Tabla 42 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} en el punto 1, mayo-agosto, 2020.....	137
Tabla 43 Relación PM _{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2020	139

Tabla 44 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} en el punto 2, mayo-agosto, 2020.....	140
Tabla 45 Relación PM _{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020	141
Tabla 46 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} en el punto 3, mayo-agosto, 2020.....	142
Tabla 47 Relación PM _{2.5} y BC, punto 3, mayo-agosto, 2020	144
Tabla 48 Concentración estimada de BC a partir de PM _{2.5} en el punto 4, mayo-agosto, 2020.....	145
Tabla 49 Relación PM _{2.5} y BC, punto 4, mayo-agosto, 2020	147
Tabla 50 Análisis comparativo re resultados 2019 y 2020	148
Tabla 51 Tabla comparativa mensual de 2019 y 2020	150
Tabla 52 Matriz de consistencia.....	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Contaminantes secundarios	28
Figura 2 Distribución típica de los contaminantes	35
Figura 3 Distribución del tamaño de partículas.....	36
Figura 4 Tamaño de la distribución de partículas de acuerdo a la fuente de emisión	37
Figura 5 Distribución química de PM de acuerdo con el polvo de vías y suelo ...	38
Figura 6 Absorción de la luz por BC, Brown Carbon	47
Figura 7 Puntos de monitoreo de PM _{2.5} y BC en el distrito de San Jerónimo	68
Figura 8 Punto de monitoreo 1: Pillao Matao.....	69
Figura 9 Punto de monitoreo Los Trigales.....	70
Figura 10 Punto de monitoreo 3: Villa el Sol.....	71
Figura 11 Punto de monitoreo 4, Urb. Constructores	72
Figura 12 LAHM y sus accesorios	81
Figura 13 Curvas de parámetros ambientales, 2019	88
Figura 14 Curvas de parámetros ambientales, 2020	93
Figura 15 Comportamiento mensual del PM ₁₀ y PM _{2.5}	93
Figura 16 Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas.....	94
Figura 17 Cuenca del río Vilcanota - Urubamba.....	95
Figura 18 Velocidad del viento (enero-junio, 2019), estación San Jerónimo	96
Figura 19 Velocidad del viento (julio-diciembre, 2019), estación San Jerónimo..	97
Figura 20 Velocidad del viento (enero-junio, 2019), estación Wánchaq.....	98
Figura 21 Velocidad del viento (julio- diciembre, 2019), estación Wánchaq.....	99
Figura 22 Dirección del viento (enero-junio, 2019), estación San Jerónimo.....	102

Figura 23 Dirección del viento (julio-diciembre, 2019) estación San Jerónimo .	103
Figura 24 Dirección del viento (enero-junio, 2019), estación Wánchaq.....	104
Figura 25 Dirección del viento (julio-diciembre, 2019), estación San Jerónimo	105
Figura 26 Mapa de viento del centro de la ciudad de Cusco (01:00 HL, enero, 2019)	106
Figura 27 Mapa de viento del centro la ciudad de Cusco (08:00 HL, agosto, 2019)	107
Figura 28 Rosa de viento, estación Wanchaq	108
Figura 29 Rosa de vientos, estación San Jerónimo	109
Figura 30 Equipo Purple Air.....	110
Figura 31 Concentraciones promedio de PM _{2.5} (14-21, marzo, 2019), San Jerónimo	111
Figura 32 Concentraciones promedio de PM _{2.5} (19-25, marzo, 2019), San Jerónimo	112
Figura 33 Concentraciones promedio de PM _{2.5} (mayo-agosto, 2020)	113
Figura 34 Reporte de material particulado (mayo-agosto, 2020).....	114
Figura 35 Reporte de PM _{2.5} horario, diario y mensual (mayo-agosto, 2020)	115
Figura 36 Serie temporal de PM _{2.5} (2019-2022)	116
Figura 37 Filtros colectados en zona 4	120
Figura 38 Instrumento LAHM (Light Absorbed Head Method).....	121
Figura 39 Relación PM _{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2019.....	126
Figura 40 Relación PM _{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2019.....	129
Figura 41 Relación PM _{2.5} y BC, punto 3. mayo-agosto, 2019.....	131
Figura 42 Relación PM _{2.5} y BC, punto 4. mayo-agosto, 2019.....	133
Figura 43 Relación PM _{2.5} y BC punto 4	135

Figura 44 Relación $PM_{2.5}$ y BC, punto 1, mayo-agosto, 2020.....	138
Figura 45 Relación $PM_{2.5}$ y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020.....	141
Figura 46 Relación $PM_{2.5}$ y BC, punto 3, mayo-agosto, 2020.....	143
Figura 47 Relación $PM_{2.5}$ y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020.....	146

RESUMEN

La presente investigación, *Evaluación de emisiones de carbono negro a partir de material particulado en el distrito de San Jerónimo - Cusco*, tuvo como **Objetivo general** Evaluar las emisiones de carbono negro (BC) a partir del material particulado PM_{2.5} en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco, durante los meses de mayo-agosto de 2019-2020. **Metodología:** tipo explicativo-descriptivo, nivel aplicado, diseño no experimental, longitudinal (mayo-agosto del 2019-202), enfoque cuantitativo. Muestra, registros de material particulado. Se determinaron 4 puntos de monitoreo: Pillao Matao (cercana a hornos/ladrilleras), Los Trigales (influencia de fuentes fijas), Sucso Aucaylle (zona poblada y fuentes de emisión) y la urbanización Constructores (alto tránsito vehicular); para lo cual se consideraron ciertos criterios de selección, entre ellos, características de la zona, considerándose el flujo vehicular, densidad poblacional, hornos de tejas y ladrillos, meteorología, instalación de equipos, accesos adecuados. Los equipos utilizados fueron: LAHM, AEROQUAL y PURPLE AIR. Se utilizó datos de monitoreo de aire de una investigación precedente, Influencia de contaminantes atmosféricos en la formación de lluvia ácida y periodicidad de precipitaciones en la provincia del Cusco 2018-2020. **Resultados:** la investigación evidenció la presencia de BC en el MP fino, alcanzando una concentración total estimada de 76.546 µg/m³ (2019) y 99.323 µg/m³ (2020). **Conclusión:** las emisiones de BC a partir del material particulado PM_{2.5} fueron evaluadas en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco.

Palabras clave: carbono negro (BC), material particulado (PM), contaminación atmosférica, monitoreo ambiental.

ABSTRACT

The present research, *Evaluation of Black Carbon Emissions from Particulate Matter in the District of San Jerónimo - Cusco*, had the **General objective** of evaluating black carbon (BC) emissions from PM_{2.5} particulate matter at monitoring points in the district of San Jerónimo, Cusco, during the months of May-August 2019-2020. **Methodology:** explanatory-descriptive type, applied level, non-experimental, longitudinal design (May-August 2019-2020), quantitative approach. Sample: particulate matter records. Four monitoring points were determined: Pillao Matao (near kilns/brickyards), Los Trigales (influence of stationary sources), Sucso Aucaylle (populated area and emission sources), and the Constructores urbanization (high vehicular traffic). For this purpose, certain selection criteria were considered, including area characteristics such as vehicular traffic, population density, tile and brick kilns, meteorology, equipment installation, and appropriate accessories. The equipment used was LAHM, AEROQUAL, and PURPLE AIR. Air monitoring data from a previous study, "Influence of Atmospheric Pollutants on Acid Rain Formation and Precipitation Periodicity in the Province of Cusco 2018-2020," were used. **Results:** The study revealed the presence of biocarbons (BC) in fine particulate matter (PM), reaching an estimated total concentration of 76,546 µg/m³ (2019) and 99,323 µg/m³ (2020). **Conclusion:** BC emissions from PM_{2.5} particulate matter were evaluated at monitoring points in the district of San Jerónimo, Cusco.

Keywords: black carbon (BC), particulate matter (PM), air pollution, environmental monitoring.

INTRODUCCIÓN

La emisión de carbono negro es actividad antropogénica es una de las principales causas de la contaminación del aire, el incremento de las emisiones gaseosas ocasiona preocupación a la población; hoy en día, factores como el incremento poblacional, incremento de procesos industriales y del parque vehicular, polvo fugitivo, las chimeneas domiciliarias a leña, quemas agrícolas y de residuos sólidos, entre otros, vienen provocando riesgos ambientales, reducción de las áreas verdes, aumento de la temperatura, calentamiento global y por tanto cambio climático.

La composición química de las partículas es muy heterogénea, indicando que las partículas con diámetro inferior a 10 μm (denominadas PM_{10}) son dañinas para la salud humana, ya que pueden penetrar en las vías respiratorias, las fracciones menores de 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$), el carbono negro o black carbon (BC) es el de mayor peligrosidad, al ser 100% respirable y permanecer mayor tiempo en los pulmones; esta sustancia es la causante de numerosas afecciones respiratorias y muertes prematuras en el mundo (Préndez, 2007).

Actualmente, en la región Cusco, la calidad del aire constituye una problemática ambiental relevante debido a la presencia de contaminantes atmosféricos como material particulado (MP) PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono troposférico, los cuales pueden afectar la salud respiratoria y cardiovascular de la población, reduciendo su bienestar y calidad de vida, según el Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM.

La investigación permitió evaluar la calidad de aire en el distrito de San Jerónimo, a través de la estimación de las concentraciones de Carbono Negro (BC)

contenido en el $PM_{2.5}$, tomando muestras tanto estáticas como dinámicas, de las áreas más afectadas, de la zona urbana de San Jerónimo. Este estudio describe, en primer lugar, las características principales de las zonas de estudio, seguidamente la metodología empleada, que consistió en realizar comparaciones de las concentraciones obtenidas en los puntos de muestreo, encontrándose valores que superan los normales de calidad de aire y que podría ser peligrosa para las personas consideradas de riesgo o vulnerabilidad como niños y adolescentes, adultos mayores, gestantes, personas con enfermedades cardiovasculares, personas expuestas por trabajo o una actividad diaria en exteriores.

El BC es el componente del MP que más fuertemente absorbe la luz del Sol, es formado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, se emite directamente a la atmósfera como parte del $MP_{2.5}$, el BC es la forma de MP más efectiva para absorber la energía del Sol, por unidad de masa en la atmósfera (US EPA, 2016).

El BC presenta una estructura carbonosa altamente conjugada y de color oscuro, con capacidad de interactuar con la radiación electromagnética solar. Cuando la luz solar incide sobre las partículas de BC suspendidas en la atmósfera, una parte de esa radiación no se refleja ni se dispersa, sino que es absorbida por la partícula. La energía absorbida excita los electrones presentes en la estructura carbonosa y posteriormente se transforma en energía térmica, generando calentamiento del aire circundante. Por ello, el BC es considerado el componente del MP con mayor capacidad de absorción de radiación solar por unidad de masa. El BC absorbe radiación solar en diferentes longitudes de onda y es la forma de MP más efectiva para absorber energía solar por unidad de masa (US EPA, 2016).

El principio físico que explica esta absorción se basa en la atenuación de la intensidad luminosa cuando la radiación atraviesa un medio que contiene partículas absorbentes. Esta relación se expresa mediante la Ley de Beer-Lambert, la cual indica que la intensidad de luz transmitida disminuye en función de la concentración de partículas absorbentes, la distancia recorrida por la luz y la capacidad de absorción del material (US EPA, 2016).

Los objetivos de la investigación, se realizaron gracias al Centro de Investigación en Cambio Climático y Gestión Ambiental (CICCGA), logrando analizar y precisar valores de BC que no se han realizado anteriormente, mucho menos en el distrito de San Jerónimo.

El estudio se estructura de la siguiente manera: primer capítulo, *planteamiento del problema*, en donde se redacta la situación problemática, formulación del problema, justificación de la investigación, así como los objetivos de la investigación. Segundo capítulo, *marco teórico conceptual*, se mencionan la base teórica, marco conceptual, así como los antecedentes de la investigación, hipótesis y operacionalización de variables. Tercer capítulo, metodología, se describe el ámbito de estudio, diseño metodológico, población y muestra, equipos e instrumentos utilizados, así como las técnicas de análisis e interpretación de datos. Cuarto capítulo, resultados y discusión, se expresa el procesamiento, análisis de datos y discusión de resultados, así como la presentación de resultados. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de este trabajo, ayudarán de manera científica a plantear políticas de reducción, prevención y monitoreo de la contaminación atmosférica en el distrito de San Jerónimo.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

El estudio presenta la calidad del aire del distrito de San Jerónimo, zona de confluencia de partículas y gases provenientes del parque automotor, de los hornos de tejas y ladrillos, de la quema de biomasa y de incendios de pastizales; los que contribuyen con el deterioro del ambiente de esta localidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino $PM_{2.5}$ en el distrito de San Jerónimo, Cusco?

1.2.2 *Problemas específicos*

1. ¿Cuál es la concentración de material particulado fino $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco?
2. ¿Cuál es la distribución espacial del Carbono Negro (BC) estimado en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco?
3. ¿Qué relación existe entre la concentración de material particulado fino $PM_{2.5}$ y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco?

1.3 Justificación de la investigación

El BC es causante de efectos negativos a la salud, por su pequeño tamaño, estas partículas al ser inhaladas pueden afectar directa o indirectamente al sistema respiratorio e incrementar el riesgo de padecer enfermedades respiratorias.

San Jerónimo, uno de los siete distritos de la provincial de Cusco, ha ido incrementado su actividad comercial, sobre todo de producción de tejas y ladrillos, generando así mayores fuentes emisoras de partículas, que, junto al polvo generado en las vías sin asfaltar, el uso de leña para cocción de alimentos y quemadas agrícolas, aportan contaminantes a la atmósfera, no solo del sector sino de la cuenca del río Huatanay.

Se cree que esta investigación es relevante, no solo porque dará a conocer la concentración de MP, sino porque también se conocerán sus componentes: como metales pesados, polvo, BC, entre otros.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 *Objetivo general*

Evaluar la concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino $PM_{2.5}$ en el distrito de San Jerónimo, Cusco.

1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Determinar la concentración de material particulado fino $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco.
2. Estimar la concentración y distribución espacial del Carbono Negro (BC) mediante el principio de absorción de luz por partículas en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco.
3. Analizar la relación entre la concentración de material particulado fino $PM_{2.5}$ y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Bases teóricas

2.1.1 *Concepto de atmósfera*

La atmósfera es una capa gaseosa de aproximadamente 10.000 km de espesor que rodea la litósfera e hidrósfera, está compuesta de gases y de partículas sólidas y líquidas en suspensión atraídas por la gravedad terrestre, en ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta, regula la entrada y salida de energía de la tierra y es el principal medio de transferencia del calor. (Cuadrat, 1997)

La atmósfera son todo el conjunto de gases (N, H, C, y el preciado O) que rodean a la tierra, están divididos en varias capas dependiendo de la altura a la que se encuentran es el nombre que reciben, la capa más cercana a la tierra es la tropósfera, en esta capa es donde suceden la mayoría de los fenómenos meteorológicos (huracanes, lluvias, tornados, nevadas, etc.) y también es en la que todos vivimos y respiramos, esta capa es la que comúnmente la población en general conoce como aire. (Fernández, 1995)

2.1.2 *Definición de aire*

Según la mecánica de fluidos, el aire se define como un fluido gaseoso compresible constituido por moléculas en movimiento aleatorio, cuyas fuerzas intermoleculares son débiles en comparación con las de los líquidos y sólidos. Debido a esta condición, el aire no posee forma ni volumen propio definido, sino que tiende a expandirse y ocupar el volumen disponible del recipiente o espacio que lo contiene. En la atmósfera, la distribución del aire está influenciada por la

gravedad terrestre, la cual actúa sobre las moléculas gaseosas y genera un gradiente vertical de presión y densidad; es decir, la presión atmosférica es mayor cerca de la superficie terrestre y disminuye con la altitud. Por tanto, la gravedad no funciona como un “envase”, sino como una fuerza que contribuye a mantener la masa de aire alrededor de la tierra y a establecer el equilibrio hidrostático de la atmósfera.

La pureza del aire depende de la mezcla gaseosa compuesta por: 78% de N, 21% de O y 1% que lo integran diferentes compuestos tales como Ar, CO₂, O₃. Mientras que la contaminación atmosférica es cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire. (López, 2009)

El aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre”. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2004)

2.1.3 La atmósfera

2.1.3.1. Concepto de atmósfera

Es una mezcla gaseosa de partículas y aerosoles que envuelve a la tierra, comúnmente denominado “aire”; esta, desarrolla una serie de funciones vitales para la existencia de los organismos en el planeta, pues nos protege de la radiación cósmica y ultravioleta proveniente del Sol.

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra y se mantiene alrededor del planeta debido a la acción de la gravedad. Está compuesta principalmente por N, O, Ar, CO₂ y otros gases en menor proporción. Su temperatura varía principalmente en función de la altitud y de las capas atmosféricas, debido a que

cada una de ellas absorbe de manera diferente la radiación solar. En ese sentido, la variación térmica atmosférica permite diferenciar capas tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera. La **Tabla 1** presenta los principales componentes de la atmósfera y sus respectivas fórmulas químicas.

Tabla 1

Composición de la atmósfera

Componente	Fórmula	Presencia en la atmósfera
Nitrógeno	N ₂	78.084%
Oxígeno	O ₂	20.946%
Argón	Ar	0.934%
Vapor de agua	H ₂ O	Variable
Dióxido de carbono	CO ₂	≈ 0.042% / ≈ 420-430 ppm
Neón	Ne	18.182 ppm
Helio	He	5.24 ppm
Kriptón	Kr	1.14 ppm
Xenón	Xe	0.09 ppm
Metano	CH ₄	≈ 1.92 ppm
Hidrógeno	H ₂	0.55 ppm
Óxido nitroso	N ₂ O	0.33 ppm
Monóxido de carbono	CO	Variable / ≈ 0.10 ppm
Ozono	O ₃	Variable / ≈ 0.10 ppm
Amoníaco	NH ₃	Variable / ≈ 0.10 ppm
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Variable / ≈ 0.10 ppm
Dióxido de azufre	SO ₂	Variable / ≈ 0.10 ppm
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	Variable / ≈ 0.10 ppm

2.1.3.2. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire de toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o interactuar en la atmósfera, altere o modifique su composición y condición natural. (INE, 2010; SEMARNAT, 2010)

La física de la atmósfera refiere que la contaminación se puede asimilar, transformar o eliminar, pues los sistemas permanecen en equilibrio. Sin embargo, en muchos casos las emisiones de grandes cantidades de sustancias a la atmósfera han rebasado la capacidad de equilibrio de este sistema, ocasionando con ello la alteración del ambiente natural. (Kathryn et al., 2004)

2.1.3.3. Contaminación del aire

El llamado aire puro en realidad no existe, puesto que hay un intercambio constante de materia entre los seres vivos, la hidrósfera, la atmósfera y la litósfera. Sin embargo, es posible que nunca antes la contaminación del aire haya sido tan importante como lo es en la actualidad. (Flores, 1997)

Los problemas de calidad del aire están relacionados con diferentes factores: geofísicos, meteorológicos y socioeconómicos, éste último debido a la presión ejercida por el crecimiento de la economía y población. La población, el desarrollo industrial y la dependencia por los motores de combustión interna explican el incremento sostenido de las emisiones gaseosas y MP, los cuales han sobrecargado la capacidad natural del aire para diluirlos. (Roberts, 2009)

2.1.4 Fuentes de Contaminación

Las fuentes de contaminantes atmosféricas se pueden agrupar en (McGraw, 2009):

2.1.4.1. De acuerdo a su origen:

a. "Fuentes naturales"

- Comprenden emisiones de contaminantes generados de manera natural por la geósfera, biósfera e hidrósfera, como:
- erupciones volcánicas: aportan a la Atmósfera compuestos azufrados, convirtiéndose en la principal causa de la contaminación.

- incendios forestales: emiten concentraciones de CO₂, NO_x, humo, polvo y otros.
- actividades de los seres vivos: como: respiración, que incrementan el CO₂ en el ambiente; reproducción y floración en plantas que se polinizan a través del aire, las que, al producir su polen y esporas, se convierten en causa de alergias respiratorias conocida como polinosis; la descomposición de la materia orgánica, que CH₄, etc.
- descargas eléctricas: que dan lugar a la oxidación del nitrógeno atmosférico.
- el mar: naturalmente emite cantidad de partículas salinas al aire.

b. Fuentes artificiales o antropogénicas.

Las actividades humanas contribuyen a la contaminación con el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). Entre las principales actividades generadoras de contaminación atmosférica podemos destacar las siguientes (McGraw, 2009):

- hogar: para la calefacción y funcionamiento de aparatos domésticos.
- transporte: las emisiones provenientes del parque automotor y la densidad del tráfico, generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos.
- industria: la contaminación del aire se da mayormente por los hornos de cocción de tejas y ladrillos asentados en el distrito de san jerónimo.
- actividades pecuarias: la existencia de ganado vacuno incrementa los Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- quema de pastizales: el incremento de los incendios de pastizales, al ser una actividad tradicional, muy frecuente, impacta en forma negativa la calidad del aire.

Es importante mencionar que las emisiones de origen natural son más elevadas a nivel global, mientras que las emisiones de origen humano lo son a nivel local o regional. La contaminación antropogénica es más importante por localizarse en zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí, formando otros nuevos, y donde la existencia de sumideros como la vegetación son menores. (McGraw, 2009)

2.1.4.2. Según su movilidad

Según (Caminos et al., 2007):

- fuentes móviles. emiten contaminantes durante su desplazamiento, por ejemplo, el parque automotor y los aviones.
- fuentes fijas. fuentes estacionarias, por ejemplo, las centrales termoeléctricas, chimeneas, hornos de tejas y ladrillos.

2.1.4.3. Según el Área

- Según el área que comprenden, las fuentes de contaminación del aire también se pueden clasificar en fuentes puntuales, líneas de emisión y áreas de emisión (Camino et. al 2007).
- fuentes puntuales. fuentes individuales y únicas que permanecen fijas en el tiempo, estas emiten gases y partículas a la atmósfera.
- líneas de emisión. son contaminantes con geometría rectilínea, ejemplo en las carreteras se analizan emisiones por unidad de longitud teniendo en cuenta la densidad del tránsito vehicular.
- área de emisión. sumatoria de varias fuentes puntuales, en un tiempo establecido.

2.1.5 Tipos y clasificación de contaminantes atmosféricos

Los contaminantes se dividen en dos grandes grupos con el criterio de si han sido emitidos desde una fuente conocida o se han formado en la atmósfera.

2.1.5.1. Por su origen:

Es así que existen contaminantes primarios y secundarios (McGraw, 2009):

a. Contaminantes primarios, son sustancias de naturaleza y composición química variada, emitidas directamente a la Atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo al Pb, CO, SO_x, NO_x, HC, MP), entre otros; todos ellos constituyen más del 90% de los contaminantes del aire. (McGraw, 2009)

b. Contaminantes secundarios, los que no provienen de focos emisores, se originan a partir de los contaminantes primarios, luego de reacciones químicas en la Atmósfera, entre estos tenemos el ozono troposférico (O₃), nitratos de peroxiacetilo (PAN), sulfatos SO₄⁼, NO₃⁻, H₂SO₄, entre otros.

Figura 1*Contaminantes secundarios*

Contaminante	Características	Origen	Evolución en la Atmósfera
-Trióxido de azufre (SO ₃)	- Gas incoloro, se condensa fácilmente	- Se forma a partir de SO ₂	- Reacciona con el ión hidroxilo y pasa a ácido sulfúrico
-Trióxido de nitrógeno (NO ₃)	- Gas fácilmente oxidable	- Oxidación por el ozono a partir del NO ₂	- Interviene en reacciones fotoquímicas de formación de smog
-Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	- Son sustancias con un elevado poder corrosivo	- Productos finales de la oxidación de compuestos atmosféricos que contienen azufre o nitrógeno	- Precipitan como lluvia ácida
-Ácido Nítrico (HNO ₃)	- Son agentes oxidantes		
Oxidantes Fotoquímicos			
-Ozono Troposférico (O ₃)	- Gas de color azul pálido, irritante y picante -Elevado poder oxidante	- Intrusiones estratosféricas - Erupciones volcánicas - Descargas eléctricas en tormentas	-Reacciona con otros contaminantes -Componente del smog fotoquímico
-Nitratos de Peroxiacetilo (PAN)	- Sustancias de gran poder oxidante	- Fermentaciones - Reacciones fotoquímicas a partir de óxidos de nitrógeno y COV generados por el tráfico humano - Reacciones fotoquímicas a partir de COV	-Componentes del smog fotoquímico

Nota. De McGraw (2009).

2.1.5.2. Por el estado Físico

- gases: como vapores.
- partículas: líquidas y sólidas.

2.1.5.3. Por la composición Química

- orgánicos: por su contenido de H y C.
- inorgánicos: contienen enlaces simples de carbono (CO₂, SO_x, NO_x).

2.1.5.4. Por el lugar que se encuentran

- aire exterior: aire en la atmósfera.
- aire interior: dentro de edificios o construcciones.

2.1.6 Contaminantes del aire

2.1.6.1. Óxidos de carbono

a. Bióxido de carbono, gas incoloro, carente de sabor, encontrándose de forma natural en la atmósfera, no es tóxico y desempeña un papel fundamental en el ciclo del carbono en la naturaleza. (Echarri, 2007)

Este gas produce un importante efecto de atrapamiento de calor, conocido como efecto invernadero y su aumento, debido a la quema de combustible fósil y de grandes extensiones de bosques en los últimos años, está ocasionando daños socio-ambientales a nivel global. (Echarri, 2007)

b. Monóxido de carbono, es un gas sin color, olor ni sabor y se considera tóxico porque envenena la sangre al combinarse fuertemente con la hemoglobina reduciendo drásticamente la capacidad de transportar oxígeno. (Echarri, 2007)

La actividad humana es la principal fuente, después del CO₂. Se origina como resultado de la combustión incompleta de la gasolina en los motores de los vehículos (Echarri, 2007). El 70% de este componente, proviene de la combustión incompleta de fuentes móviles, este hecho es relevante para inferir la evolución horaria de MP en suspensión, cuya determinación sobre períodos cortos de tiempo es más dificultosa, y permitirá obtener indirectamente concentraciones de compuestos orgánicos volátiles, previo análisis de la composición de la flota vehicular y la distribución de vehículos por tipo de combustible. (Defensoría Del Pueblo, 2009)

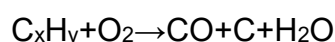
c. Carbono Negro (BC), es un tipo de aerosol carbonáceo producto de procesos de combustión incompleta (Bond et al., 2013). Las partículas de BC generalmente se componen de grafito. Miles de esférulas de grafito coagulan formando cadenas fractales, con diámetros aerodinámicos entre 10 y 200

nanómetros (Invernizzi et al., 2011). Lo que hace tan distinguible este aerosol de otros, son sus propiedades físicas. El material negro hollinoso, se da por la combustión incompleta, del diésel y sus derivados, así como la combustión de biomasa (incendios forestales, quemas rurales, chimeneas a leña, etc.) y las plantas termoeléctricas a carbón.

La combustión incompleta ocurre cuando hay poco O_2 , por eso el combustible no se oxida totalmente y se forman principalmente CO, carbono u hollín (C) y H_2O .

Ecuación general

Para un hidrocarburo:



También puede formarse algo de CO_2 , pero en menor proporción.

2.1.6.2. Óxidos de azufre.

a. Bióxido de azufre (SO_2), este gas incoloro, de olor fuerte e irritante, parte llega a la atmósfera, otra se deposita en la superficie y el resto se transforma en iones sulfato, también es emitido por actividades humanas, sobre todo por la metalurgia y por la combustión de carbón y petróleo, pero también se encuentre presente en el ambiente de forma natural debido a la actividad volcánica. (Echarri, 2007)

El dióxido de azufre, por su densidad y peso mayor del aire, es soluble en agua, forma núcleos de condensación, generando disminución de visibilidad en la atmósfera, la misma que corroe materiales y produce la lluvia ácida.

De otra forma, la oxidación del azufre en el combustible, se emitirá como SO_2 , mientras que en el escape del diésel se forma SO_3 .

b. Trióxido de azufre (SO_3), se forma por la reacción de SO_2 con el O_2 en la Atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido H_2SO_4 contribuyendo a la formación de “lluvia ácida” la cual produce daños importantes en la salud y en la reproducción de peces y anfibios, y contribuye con la corrosión de metales y con la destrucción de monumentos, el SO_3 al combinarse con el agua forma el H_2SO_4 y sulfatos en forma de partículas y en la etapa de escape del diésel, los aerosoles de sulfato generan partículas, proporcionando un núcleo para que otros gases se condensen. (Echarri, 2007)

c. Óxidos de Nitrógeno (NO_x), se compone por NO y NO_2 , estos son liberados al aire a través del escape de los vehículos, durante procesos metalúrgicos y uso de la dinamita (Agency for toxic substances and disease registry, 2002).

El NO , se oxida formando NO_2 , resultando, así como precursor en la formación de O_3 en la atmósfera. En los vehículos, se forman a través de procesos térmicos, que dependen de la temperatura de combustión y de mezclas pobres, en los motores diésel.

2.1.6.3. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Son hidrocarburos que se componen de 2 a 210 átomos de carbono por molécula, esenciales para la formación de contaminantes secundarios y debido a las características tóxicas que varios de ellos poseen, pueden representar un peligro potencial para la salud de la población. (Sánchez, Vega, Reyes y Mujica, 2004)

a. Metano (CH_4), es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo como por ejemplo en la digestión del ganado; así mismo, se forman grandes cantidades de este

contaminante en varios procesos de origen humano; se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y en las reacciones estratosféricas. (Echarri, 2007)

b. Clorofluorocarburos (CFC), son moléculas orgánicas formadas por átomos de cloro y flúor unidos al carbono, se utilizan mucho en spray, refrigerantes, entre otros; importante por su papel en la destrucción del ozono de la atmósfera. (Echarri, 2007)

2.1.6.4. Partículas y aerosoles

Partícula es una porción ínfima de un material, en la atmósfera hay diversas partículas suspendidas como el polvo, polen, hollín, metales (Pb, Cdo), sales; algunas de estas partículas son tóxicas para los humanos y, es principalmente en las grandes ciudades, donde se convierten en un contaminante de alto riesgo para la salud de todos los seres vivos. (Echarri, 2007)

El término aerosol se refiere a una mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas suspendidas en un gas, los que pueden influir sobre el clima de una manera ambigua; por este motivo, no está totalmente clara la influencia de este contaminante, probablemente contribuye al calentamiento en las áreas urbanas y al enfriamiento cuando están dispersos en la alta atmósfera. (Echarri, 2007)

2.1.6.5. Ozono (O₃)

Es un gas incoloro y cuyo olor se detecta a niveles muy bajos; se forma por la interacción entre compuestos orgánicos y NO_x en presencia de luz solar; también es formado por cualquier otra fuente de energía de gran capacidad, como rayos, equipos eléctricos de alto voltaje y dispositivos para purificación del agua; el O₃, por sus características es altamente oxidante, se forma en la tropósfera por acción de

la luz solar sobre los gases: NO_x , COV, CO y CH_4 . Conocido también como fotoquímico. (Bromberg & Korenb, 1995)

El ozono O_3 es uno de los principales contaminantes atmosféricos presentes en las zonas altamente industrializadas y en ciudades con gran cantidad de automóviles ya que, más de la mitad de los ingredientes necesarios para su producción provienen de las emisiones del tubo de escape de los vehículos; los niveles de O_3 son variables durante un registro diario, dependerá del tráfico vehicular, de actividades industriales y de la presencia de luz solar, como en los países mediterráneos que tienen altas temperaturas, cielos despejados, elevada insolación y vientos bajos. (Quiroz y Paz, 2006)

2.1.6.6. Plomo (Pb)

Los motores de los autos que queman gasolina con Pb, se producen sales de este elemento, como los cloruros, bromuros y óxidos que ingresan al ambiente a través de los tubos de escape, ya que tienen efectos abrasivos en distintos materiales. (Aguilar, 1997)

2.1.6.7. Hidrocarburos (HC)

En los HC, existen miles de especies, se generan luego de las emisiones del escape en los motores. Los HC son precursores del O_3 a nivel del suelo, mediante reacciones con los ON_x .

2.1.6.8. Material Particulado (MP)

El MP, comprende todas las partículas sólidas y líquidas que se encuentran suspendidas en el aire; la vida media de las partículas en suspensión varía desde segundos hasta meses, estas pueden formar núcleos de condensación que influyen en la formación de nubes, lluvia y nieve. (McGranahan & Murray, 2003)

El MP emite partículas sólidas y líquidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang et al., 2003). Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, COV, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos. (Billet, 2007)

2.1.7 Características del MP

2.1.7.1. Tamaño de partícula.

El material particulado se encuentra como partículas sólidas y líquidas suspendidas en un gas; y se dividen en dos grandes grupos de acuerdo a su tamaño, como son fracción gruesa y fracción fina, de acuerdo a su diámetro aerodinámico. (Reist, 1984)

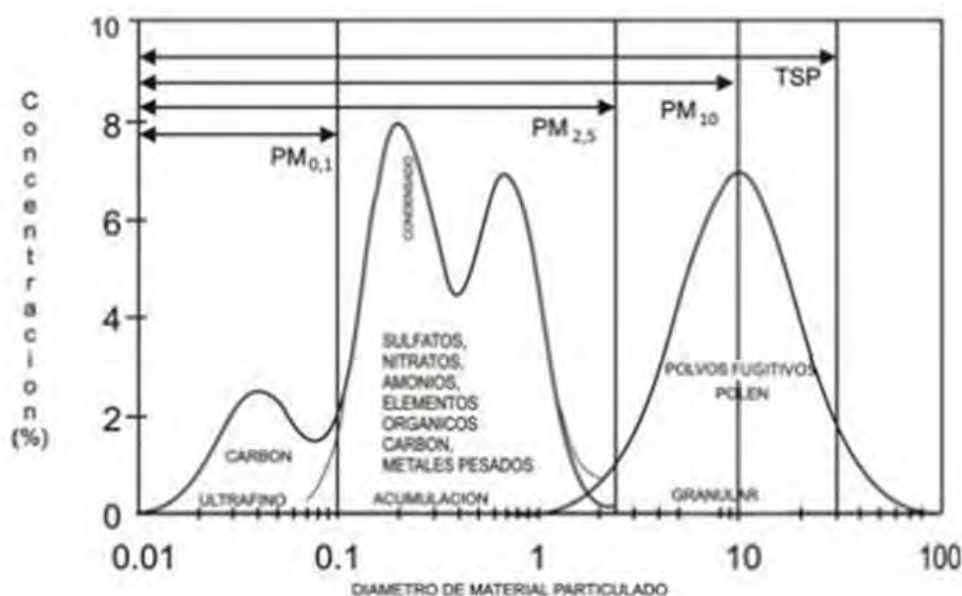
a. Fracción gruesa (PM₁₀). Se caracteriza por contener partículas gruesas con diámetros entre 2.5 y 10 μm (PM₁₀ y PM_{2.5}), los que pueden incluir, el polvo generado por el transporte, procesos agrícolas, minería, así como, materiales no combustibles relacionados con la quema de combustibles fósiles, mientras que, en la fracción gruesa, se aprecian granos de polen, esporas de plantas, evaporación del rocío del mar producirlas en las zonas costeras. (McGranahan & Murray, 2003)

b. Fracción fina (PM_{2.5}). Agrupa partículas con tamaños menores de 2.5 μm (PM_{2.5}), formadas por sublimación y van aumentando su tamaño gracias a la condensación de los gases; otro mecanismo de formación se da por coagulación, donde dos o más partículas se combinan para formar una sola cadena; así mismo, al ser de tamaño, forma y composición variada, se han clasificado en función a su

diámetro aerodinámico, como finas y gruesas (García, 2006; Bell, 2004), como se presenta en la **Figura 2**.

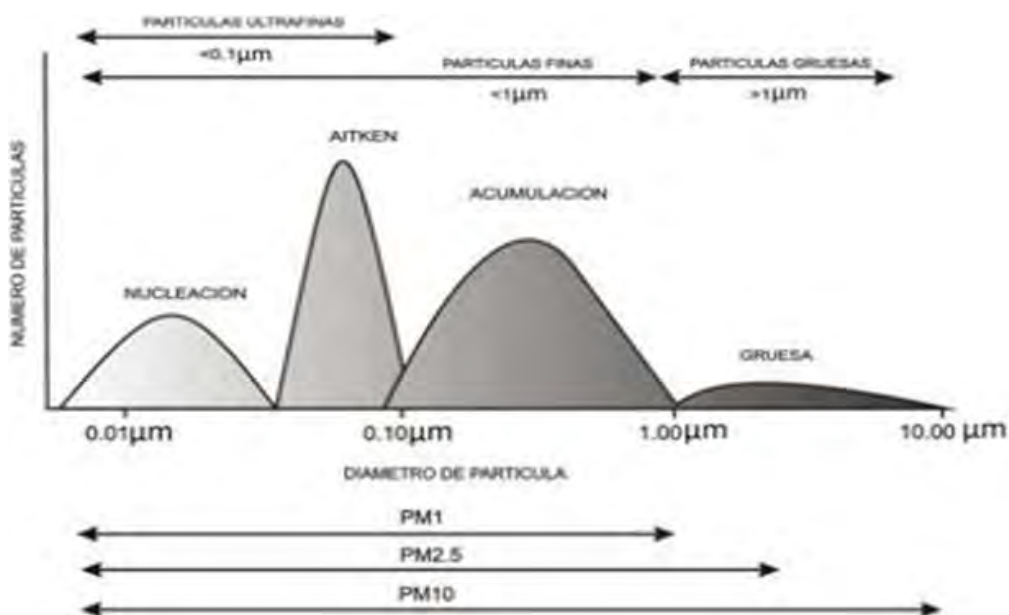
Figura 2

Distribución típica de los contaminantes



Nota. Tomado de Watson & Chow (2000).

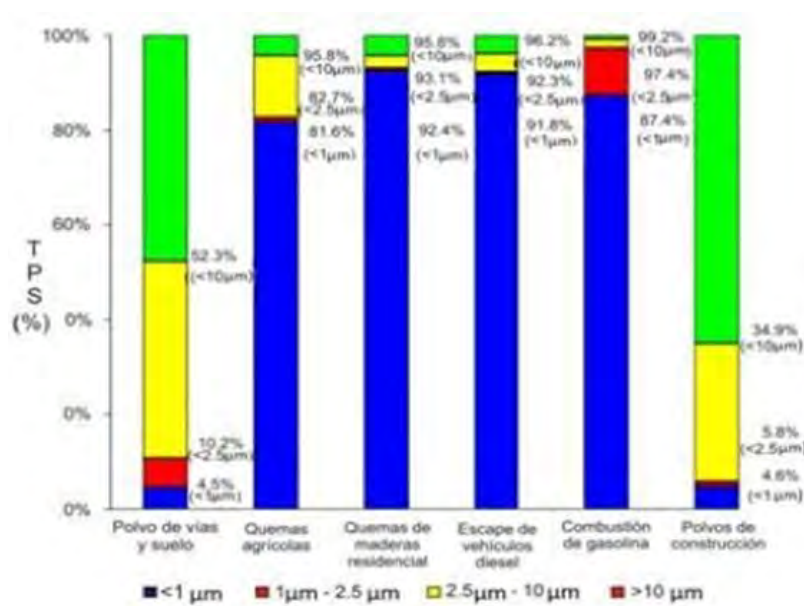
Otros autores afirman que el diámetro de las partículas atmosféricas en suspensión, varía desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras (µm). Generalmente se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas”, que están relacionados en su mayoría con el mecanismo de formación de las partículas: nucleación, Aitken, acumulación y moda gruesa (Warneck, 1988; EPA, 1996; Seinfeld & Pandis, 1998; Viana, 2003), como se presenta en la **Figura 3**.

Figura 3*Distribución del tamaño de partículas***Nota.** Tomado de Viana (2003).

Estas partículas pueden variar su tamaño y composición a través de varios procesos como el vapor de condensación, la evaporación, la coagulación a través de las colisiones del movimiento browniano por la hidrodinámica y fuerzas gravitacionales o eléctricas (Fang et al., 2003). El material particulado posee una amplia gama de propiedades morfológicas, químicas, físicas y termodinámicas (EPA, 2004). Este es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas (Artiñano et al., 2003) como se presenta en la **Figura 4**.

Figura 4

Tamaño de la distribución de partículas de acuerdo a la fuente de emisión



Nota. Tomado de Watson & Chow (2000).

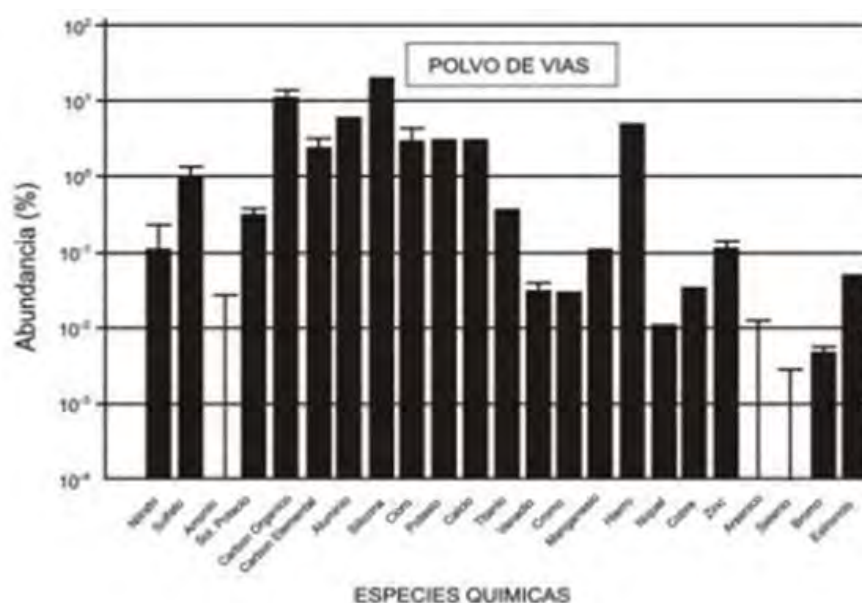
Algunos investigadores han divulgado que la emisión de contaminantes de origen vehicular, constituye una de las causas más relevantes en el deterioro de la calidad del aire (Toro et al., 2001), lo que afecta la composición química de la atmósfera a nivel local y regional (Maldanova et al., 2009). La extracción de la atmósfera del material particulado en suspensión se produce por diversos mecanismos, bien sea por deposición seca o por deposición húmeda, cuya eficacia depende esencialmente del diámetro, composición química y propiedades termodinámicas de las partículas. (Viana, 2003)

Según el Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong (HKEPD), el escape de los vehículos diésel es la principal causa del alto nivel de MP en las zonas urbanas (Ho, 2003; Quijano y Orozco, 2005). Los principales elementos encontrados por la quema de combustibles fósiles, transformación de metales e incineración de residuos son el Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, V, Sb.

Los diferentes elementos presentes en las muestras del material particulado pueden estar asociados con materia mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y compuestos de carbono. (Viana, 2003; Viana, Querol, Alastuey, 2006)

Figura 5

Distribución química de PM de acuerdo con el polvo de vías y suelo



Nota. Tomado de Watson & Chow (2000).

Los modelos de contaminación del aire y la investigación, hoy en día nos permiten caracterizar las partículas por sus propiedades, las que tienen efectos en el sistema respiratorio humano, encontrándose gran variedad de fuentes de emisión natural y antropogénicas.

Entre las partículas generadas por eventos naturales, tenemos el polvo de la superficie, el viento y los aerosoles marinos y biogénicos, mientras que las fuentes antropogénicas, provienen del transporte automotor, aviones, barcos,

trenes, maquinaria agropecuaria, actividades vinculadas con la construcción y las industrias.

Las partículas secundarias, se forman en la atmósfera a partir de precursores gaseosos (por condensación o coagulación, “partículas secundarias”); las emitidas en el transporte, tienen tamaños máximos de hasta $1\mu\text{m}$; en cambio, las partículas provenientes del polvo, el polen y la sal marina tienen diámetros mayores a 1μ .

El material particulado de la atmósfera, puede clasificarse por sus propiedades aerodinámicas, debido a que condicionan su depósito dentro del sistema respiratorio y están asociadas con la composición química, las que pueden variar en órdenes de su diámetro aerodinámico: partículas inferiores a $10\mu\text{m}$ se la denomina PM_{10} y a las menores a $2.5\mu\text{m}$, $\text{PM}_{2.5}$.

2.1.7.2. Composición química del MP

Conocer la composición química del MP, tiene relevancia no solo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire que se respira en las ciudades. (Quijano et al., 2010)

- el MP, químicamente, se compone de elementos de origen natural y de origen antrópico, de esta forma:
- carbono negro (BC) y carbono orgánico (OC): proveniente de procesos de combustión, se compone por carbono elemental y está rodeado por compuestos orgánicos semi volátiles.
- metales pesados: provienen principalmente de procesos de combustión, entre ellos tenemos el Cd, Cr y Fe.
- nitrato: derivados de oxidación del nitrógeno atmosférico y del $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$
- sulfato: derivado del SO_2 , del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y el H_2SO_4 , generados durante la

combustión.

- material biológico: se incluyen aquí las bacterias, virus, polen, esporas y fragmentos de celulosa; característico del OC y se encuentran en la fracción gruesa, entre 2.5 μm a 10 μm .
- material geológico: Proveniente de la corteza terrestre, compuesto del polvo del suelo, minerales desprendidos por erosión del viento sobre las rocas; estos se constituyen por óxidos de Al, Si, Ca, Ti, Fe entre otros, que, conforman el 50% del PM_{10} y solo del 5 al 15% del $\text{PM}_{2.5}$. (Harrison, 2000)

2.1.7.3. Distribución de MP atmosférico

La distribución de los aerosoles atmosféricos, tienen relación directa con el origen del material particulado, su composición química, su tiempo de residencia en la atmósfera, sus propiedades ópticas, sus efectos ambientales y con el depósito en el sistema respiratorio del hombre.

Las partículas más finas, con diámetros comprendidos entre 0.005-0.1 μm , ingresan a la atmósfera por condensación proveniente de fuentes de combustión. Con el paso de varias horas, estas partículas aumentan su tamaño, hasta 2.0 a 100 μm , que se generan en forma mecánica, algunas de estas partículas gruesas provienen de fuentes industriales de partículas con controles deficientes. En su mayor parte estas partículas más grandes son removidas por la sedimentación, con acción de la lluvia o sin ella.

Dependerá de la interacción entre la sedimentación y la mezcla turbulenta, para que las partículas se mantengan en suspensión; moléculas gruesas, se depositan en la superficie por acción gravitatoria con mayor facilidad que las finas, así, sus efectos se manifiestan principalmente cerca del lugar donde fueron emitidas. (Quijano y Orozco, 2005)

2.1.7.4. Efectos nocivos del MP

Los últimos estudios han vinculado el aumento de la contaminación del aire, con la disminución de la función pulmonar, aumento en los ataques cardíacos, sumados a la disminución de la visibilidad por la absorción y dispersión de la luz (EPA).

Otras maneras menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son: el consumo de productos alimenticios contaminados con sustancias tóxicas del aire que se han depositado donde crecen, el consumo de agua contaminada con sustancias del aire, la ingestión de suelo contaminado, y el contacto con suelo, polvo o agua contaminados. (MAS, 2008)

a. Efectos en la salud.

Exposiciones prolongadas al PM₁₀, puede reducir por tanto la expectativa de vida, esto se aprecia en la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón, sobre todo en la población más vulnerable (niños, ancianos y personas con comorbilidades); así los gases de combustión vehicular, pueden terminar alojadas en el cerebro, causando estrés oxidativo, manifestándose a través del Parkinson y Alzheimer. (Borm, 2008)

Las partículas aumentan la mortalidad y morbilidad, el PM₁₀ tiene una relación con el asma y con la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, EPOC (Macnee y Donaldson, 1999). La quema de biomasa y carbón en recintos cerrados tiene graves consecuencias en la salud, la OMS calcula que 2.7 millones de personas mueren cada año por contaminación atmosférica, 1.8 millones mueren en áreas rurales, donde es la mayor fuente de mortalidad. (WHO, 2006)

Estudios hechos por Pope (2000) determinan que exposiciones cortas ante partículas de 10 µg/m³ de PM₁₀ se asocian con un incremento del orden del 0.5-

1.5% de la mortalidad, y hospitalizaciones por casos respiratorios y cardiovasculares. (Dockery, et al, 1993)

Tabla 2

Estándares Nacionales de Calidad de Aire (ECA) en Perú

Parámetros	Período	Valor Anterior [µg/m ³]	Valor Vigente [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	3	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	20	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	100	Media aritmética anual	
MP con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	24 horas	65	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	15	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	150	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) [2]	24 horas	2	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CVAAS) ó Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) ó Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método Automático)
	8 horas	10000	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	120	100	Máxima media diaria NE más de 4 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Nota. Estándares actualizados de los D.S. 074-2001-PCM; D.S.003-2008-MINAM

2.1.8 Carbono Negro (BC)

2.1.8.1. Definición

El BC, por sus siglas en inglés black carbon, es un tipo de aerosol carbonáceo producto de procesos de combustión incompleta (Bond et al., 2013). El BC es el material negro hollinoso emitido por la combustión incompleta, en motores diésel y sus derivados, incendios forestales, quemas rurales, chimeneas a leña, plantas termoeléctricas a carbón y otras fuentes que queman combustibles fósiles. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA)

Es un aerosol sinónimo del hollín (soot), que se forma en la combustión de motores de combustión interna, las emisiones particuladas se encuentran generalmente en la atmósfera como partículas cuasi esféricas compuestas de grafito; miles de esférulas de este, coagulan formando aglomerados o cadenas fractales, con diámetros aerodinámicos entre 10 y 200 [nm]. (Invernizzi et al., 2011)

2.1.8.2. especies carbonáceas

Entre estas tenemos, las de tipo primario, producto de procesos de combustión de hidrocarburos, de la quema de biomasa, de fuentes orgánicas, tales como las partículas biológicas, fragmentos de plantas, humus, entre otros; mientras las secundarias, pertenecen al grupo de los aerosoles conocidos como Aerosoles Orgánicos Secundarios (SOA en inglés), relacionando este hecho con altas concentraciones de OC; las especies carbonáceas se presentan en tres formas, OC, BC y Carbonato (es ignorado por sus mínimos valores), de las cuales las dos primeras constituyen entre el 10 y el 70% del material particulado: La sumatoria de estas tres especies es denominada Carbono Total (TC en inglés). (Fujita, et al., 2007; Kupiainen, K. y Klimont, Z., 2007)

2.1.8.3. Importancia de estudiar BC

El BC es generado por la combustión incompleta de combustibles fósiles en un 40%, por emisiones de biocombustibles en un 20%, mientras que el 40% restante lo proporciona la quema de biomasa. (Ramanathan & Carmichael, 2008)

El estudio del BC ha tomado importancia tras investigar los efectos que produce su emisión, pues según datos científicos el BC está considerado como el segundo (Jacobson, 2001) y tercer (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007) mayor contribuyente al calentamiento global ya que se estima provoca un forzamiento radiativo neto positivo (calentamiento de la superficie) de 1.2 W/m^2 ($\pm 0.4 \text{ W/m}^2$) a través de tres procesos distintos: la absorción de la luz solar directa (forzamiento negativo), la absorción de la radiación solar reflejada por la tierra y las nubes (forzamiento radiativo positivo); el aumento de la absorción de la luz del sol por el depósito en la nieve y el hielo (forzamiento radiativo positivo). (Shresta et al., 2010)

Una de las características más significativas del BC es su porosidad, mediante la cual tiende a adsorber variedad compuestos que se generan en la combustión como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos y algunos metales que lo utilizan como medio de transporte para introducirse en lo más profundo del sistema respiratorio ocasionando así diversos tipos de enfermedades respiratorias, efectos carcinógenos y/o mutagénicos. (Jiang et al., 2005; Páramo, 2009)

2.1.8.4. Características del Carbono Negro (BC)

Los distintos métodos ópticos y térmicos utilizados para la identificación de material carbonoso, han generado distintas definiciones técnicas como BC, carbono elemental, OC o carbono café, dependiendo de la propiedad principal a medir. (Andreae y Gelencsér, 2006)

El término BC surge a partir del uso de los métodos de atenuación ópticos y se refiere a la alta absorción de luz en distintas longitudes de onda que tienen los aerosoles carbonosos. (Marley et al., 2009)

En las fuentes de emisión de origen antropogénico, sean éstas motores de combustión interna, calderas, hornos, estufas, etcétera, la cantidad emitida de BC varía según el tipo de combustible, el proceso de combustión y la efectividad de los equipos de control de emisiones empleados. (Bahner et al., 2007)

La composición química inicial del BC depende del proceso o fuente de emisión; cierto tipo de fuentes producen carbón elemental (grafito), o bien, hasta 50% de carbón orgánico (Johnson et al., 2006).

Esta condición permite que una partícula carbonosa sea o no soluble en agua o en un solvente orgánico, el carácter hidrofílico o hidrofóbico es importante porque de esto depende la permanencia y eliminación de la partícula en la atmósfera; el primero se mantendrá suspendido menor tiempo que el segundo (Johnson et al., 2006).

El carbono domina en 85-95%; el oxígeno 3-8% y el hidrógeno, 1-3%; el proceso de combustión puede variar la cantidad de oxígeno contenido en el BC, de tal modo que entre más eficiente sea el proceso de combustión hay una mayor abundancia de O_2 , lo que origina una superficie más irregular, incrementando la reactividad de la partícula (Andreae y Gelencsér, 2006).

Una de las principales características físicas del carbono negro es su coeficiente de absorción ($\alpha\lambda$) el cual define el grado de absorción de energía, que está estrechamente relacionado con el forzamiento radiativo; los valores de $\alpha\lambda$ de las partículas carbonosas tienen un rango de 2-25 m^2/g a 550 nm de longitud de

onda, estas mediciones revelan que los valores de $\alpha\lambda$ son de 8-10 m²/g a 550 nm. (Kassianov et al., 2005)

2.1.8.5. Propiedades Físicas

La fuerte absorción de la luz por unidad de masa en todo el espectro visible es su principal característica, no existe otra sustancia en la atmósfera, debido al desarrollo de nuevas tecnologías de medición el BC, se sugiere ser llamado Carbono Negro Refractario (CNr) por Bond et al. (2013), éste se distingue de los demás tipos de partículas carbonáceas por su única combinación de sus propiedades

Algunas propiedades físicas son:

El Índice de refracción del BC es independiente de la longitud de onda, que le permite absorber en todas las longitudes de onda del espectro visible, esto significa que mantiene su forma básica a altas temperaturas sin descomponerse y se vaporiza cerca de los 4000 K°, además de emitir radiación visible termal o luz incandescente, si llegase a evaporarse (Schwarz, 2006).

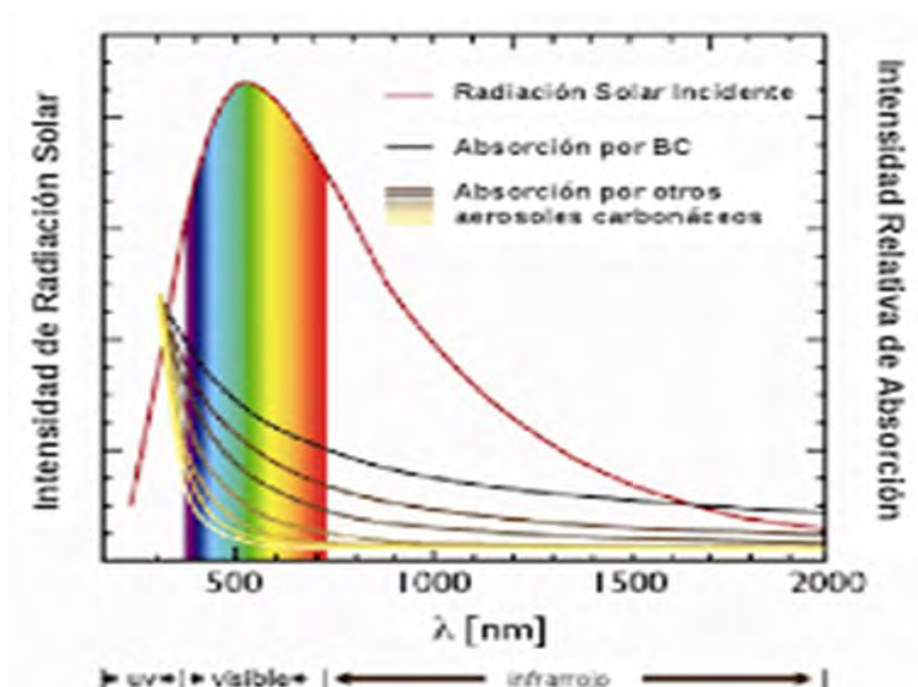
No se disuelve en el agua, ni en solventes orgánicos como metanol, acetona y en aerosoles atmosféricos.

Existe como un agregado de pequeñas esférulas consistentes en capas de grafito arrugadas en forma de cascarón. (Esta es una diferencia respecto al carbón grafitico, el que es plano).

El CN es considerado un contaminante climático de vida corta, esto es debido a que su forzamiento radiativo atmosférico se detiene dentro del orden de semanas luego que cesan sus emisiones, desapareciendo por deposición húmeda y seca.

Figura 6

Absorción de la luz por BC, Brown Carbon



Nota. Sasser et al. (2012)

2.1.8.6. Principales Regiones y Fuentes de Emisión de este Aerosol

Históricamente, los principales emisores de BC eran los países desarrollados. No obstante, tal como se ha comentado anteriormente, tras la adopción de tecnologías de control de contaminación a partir de los años 50, los países en desarrollo se han convertido hoy en día en la principal fuente de emisión, con una tendencia que va en aumento.

En el año 2000, las emisiones totales globales de BC se estimaron en torno a los 8,4 millones de toneladas. (Ramanathan & Carmichael, 2008)

Las principales regiones emisoras de BC son la llanura del Indo-Ganges, el este de China y el Sureste asiático (Indonesia incluida) en Asia; las regiones entre el sub-Sahara y Sudáfrica en África; y México, Centroamérica, Brasil y Perú en América Latina, Ramanathan & Carmichael (2008).

2.1.8.7. Principales fuentes de emisión

- combustión incompleta de leña, carbón y estiércol.
- combustión de motores diésel.
- quema de residuos agrícolas y bosques.
- extracción de hidrocarburos fósiles.
- combustión a gran escala incluyendo plantas de generación eléctrica, calderas industriales, hornos industriales, ladrilleras, cementeras.
- quema de residuos sólidos a cielo abierto.

Por otro lado, la distribución de emisiones de BC es:

- quema de biomasa, 42%
- quema de biofuel en residencias con tecnologías tradicionales, 18%
- motores diésel, en el transporte, 14%
- motores diésel, uso industrial, 10%
- procesos industriales y generación de energía, 10%
- quema de carbón en residencias con tecnologías tradicionales 6%

2.1.8.8. Participación en el clima global

El carbono negro tiene incidencia en el forzamiento radiativo directo, el efecto de calentamiento local, puede provocar cambios en la distribución vertical de temperatura, cambiando la estabilidad estática, lo que podría inducir cambios en la distribución de nubes, reducir la humedad relativa de una capa nubosa, evaporando las gotas, disminuyendo la cobertura nubosa y el albedo de las nubes. (Bond et al., 2013)

Estos efectos son indirectos y dependen de la fase de la nube, es decir, si está formada de agua líquida, hielo o mixta, los impactos finales que esto podría provocar son variados, dependen de la localización del BC en la nube, pueden

inducir forzamiento radiativo tanto positivo como negativo, pudiendo llevar a la temperatura del planeta tanto a un efecto neto de calentamiento como de enfriamiento. (Bond et al., 2013)

Los aerosoles tienen un papel importante tanto en la visibilidad como en la temperatura de la atmósfera debido a su propiedad de dispersión y absorción de la radiación solar, la dispersión, depende principalmente del tamaño de la partícula; la absorción, depende de la composición química. Aquellos aerosoles que no tienen una absorción significativa en el espectro de los rayos ultravioleta UV-B, esparcen la radiación solar y provocan enfriamiento; otro tipo de aerosoles puede tanto dispersar como absorber energía, este es el caso del carbono negro, por una parte, tiene la capacidad de reducir la cantidad de los rayos del Sol que llegan a la superficie de la tierra hasta 10%, y por otra, de incrementar la cantidad de energía absorbida hasta 50%. (Marley et al., 2009)

En años recientes la comunidad científica se ha interesado en el BC que pasó de ser un contaminante del aire a un factor determinante en el calentamiento global, pues es un factor que el forzamiento radiativo se refiere al cambio en la energía que entra o sale de la tropósfera, dicho cambio puede deberse a las variaciones en la composición gaseosa de la atmósfera o a cambios en el aporte externo de energía solar. (IPCC, 2007)

El BC contribuye al forzamiento radiativo positivo, mediante este efecto, el BC es responsable de 0.34 W/m^2 de forzamiento radiativo promedio a nivel mundial, de los cuales 0.22 W/m^2 se deben al uso de combustibles fósiles y 0.12 W/m^2 a la quema de biomasa y otras fuentes. (IGSD, 2009)

Por el contrario, Bahner et al. (2007) mencionan que el efecto neto de la mezcla de carbono negro con sulfatos, nitratos, OC y polvo mineral resulta negativo,

es decir, un forzamiento radiativo de -0.5 W/m^2 . (Internacional Council on Clean Transportation [ICCT], 2009)

El IPCC sitúa al BC como el tercer agente más importante de forzamiento radiativo positivo, después del CO_2 y del CH_4 , algunos modelos consideran que el calentamiento global debido a este contaminante es de 0.3 a $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$, incluso menor, por lo que existe controversia a cerca de reducir el carbono negro como estrategia para mitigar el calentamiento global. (Andreae y Gelencsér, 2006)

Estas modificaciones en la temperatura y precipitación se deben a la corta estancia del BC en la atmósfera la cual puede ser de 6 a 10 días, o hasta 3 semanas, dependiendo del proceso de combustión y de las condiciones geográficas y meteorológicas donde sucede la emisión. (Bahner et al., 2007)

El BC también produce forzamiento positivo al modificar el albedo de superficies brillantes como la nieve y el hielo, sin contaminación, esas superficies reflejan 86% de la energía solar hacia el espacio, pero las partículas carbonosas sobre estas superficies absorben una fracción importante de esa energía y la remiten como calor, este hecho no sólo reduce la proporción de energía solar reflejada, sino que genera un círculo de retroalimentación que induce más calentamiento y derretimiento; así el efecto global del carbono negro sobre el albedo de la nieve se calcula en 0.1 W/m^2 . (ICCT, 2009)

Edmundo de Alba, miembro del IPCC; señala que la desaparición del hielo permanente en la Sierra Nevada y el Pico de Orizaba provocará un endurecimiento en la competencia del recurso hídrico en las comunidades cercanas, por eso el sector agrícola se verá aún más amenazado por los requerimientos de líquido en los centros de población y viceversa. (Astorga, 2009)

2.1.8.9. BC y sus efectos en el clima

El BC está integrado por un conjunto de contaminantes atmosféricos, los que conllevan numerosos efectos negativos tanto para el ambiente como para el ser humano. Su mitigación podría resultar decisiva, al momento de frenar los impactos climáticos y buscar la mejora de la calidad de vida de la humanidad.

2.1.8.10. BC y cambio climático

Las partículas se clasifican, en función de su diámetro aerodinámico, en PM₁₀ (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm) y PM_{2.5} (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 µm), como el caso del BC, estas partículas absorben la radiación solar, volviendo a emitirla en forma de calor en la atmósfera. (OMS, 2011)

De acuerdo con el Instituto de Gobernanza y Desarrollo Sostenible (IGSD, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos las emisiones de Carbón Negro constituyen la segunda mayor contribución al cambio climático, por detrás del CO₂ (IGSD, 2009), y según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) “su reducción podría ralentizar la tasa de calentamiento durante los dos-cuatro próximos años mientras que el mundo aborda el problema a largo plazo de las emisiones de CO₂ y realiza el cambio hacia una economía baja en carbono.” (PNUMA, 2011)

El principal impacto negativo del BC sobre el medio ambiente reside en su alta contribución al cambio climático, ya que genera efectos radiativos: sus propiedades absorbentes de luz hacen que convierta la energía de la luz en calor y caliente el aire que le rodea. (EPA, 2012)

2.1.8.11. Efectos del carbono negro en la salud humana

Se tiende a estudiar su impacto dentro del conjunto de material particulado que, afectan a más personas que cualquier otro contaminante, además del BC, sus

principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco y el cloruro sódico. (OMS, 2011)

Aquellas clasificadas como el caso del BC, suponen mayor peligro porque pueden ser inhaladas, afectando a los bronquiolos y los pulmones, así, afirma que la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo está actualmente sometida a niveles de exposición de materias particuladas en los que ya se dan sus efectos, como el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer de pulmón. (OMS, 2011)

Asimismo, estas partículas son consideradas como la primera causa de muerte prematura en materia medioambiental, y en lo que respecta al cambio climático, pese a su corta permanencia en la atmósfera, estas sustancias son un potente forzante climático, mediante la absorción de radiación solar, que vuelven a emitir en forma de calor. (Comisión Europea, 2013)

Lo anterior se debe a la porosidad de las partículas de BC y su amplia superficie de contacto, este puede adsorber una variedad de químicos durante el proceso de combustión, incluyendo hidrocarburos poli cíclicos aromáticos, los cuales son carcinogénicos o mutagénicos. (Jiang et al., 2005; Johnson et al., 2006)

De aquí la importancia del BC por su capacidad de transportar sustancias peligrosas hasta los pulmones y poner en peligro la salud humana; en los Estados Unidos de América se estiman 125 mil casos al año de cáncer asociados a las partículas provenientes de la combustión de diésel (Bahner et al., 2007), entre tanto, en los países desarrollados hay anualmente 1.8 millones de muertes por exposición de BC en intramuros. En esos países éste y otros contaminantes provenientes de la combustión incompleta son la cuarta causa de mortalidad. (Grieshop et al., 2009)

En el estudio de Gaudeman (2004) se relaciona la exposición de BC proveniente de vehículos automotores con los efectos en la salud respiratoria de niños. Entre estos efectos está también se ha asociado con efectos en la salud cardiovascular, por ejemplo, Meter (2000) hallaron un incremento de arritmias cardiacas por exposición aguda. (Jansen et al., 2005)

En los países en desarrollo el sector doméstico es una de las principales fuentes de emisión de BC. Este sector se refiere a fuentes de combustión a pequeña escala, como el calentamiento y cocción de alimentos, donde se utiliza leña, carbón, estiércol o grasa animal.

Fuentes de Emisión de BC en una gran parte de la población de estos países vive bajo condiciones de pobreza por lo cual no tienen acceso a métodos o tecnología adecuados de combustión eficiente. Aunado a ello, la preparación de alimentos se realiza en cuartos pequeños y cerrados lo que aumenta la concentración de gases de combustión y partículas, dañando así la salud de mujeres y niños, quienes pasan más tiempo en esos lugares (Baron et al., 2009).

2.1.9 *Transporte de contaminantes atmosféricos*

2.1.9.1. Principios de transporte y dispersión

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, indica que los contaminantes del aire están influenciados por variaciones de clima y las condiciones topográficas locales, depende de otro fenómeno conocido como turbulencia, la que puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera, velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área, mientras mayor sea, menor será la concentración, el viento se genera por las diferencias en la presión atmosférica; la altura y

temperatura de una columna de aire determinan el peso atmosférico. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], 2005)

La estabilidad de la atmósfera también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire, esta se origina por condiciones atmosféricas inestables; generalmente, durante el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar, el aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar, cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores. (CEPIS, 2005)

2.1.9.2. Transporte de los contaminantes

La deposición seca o recaudación directa se denomina "Washout" que recauda directamente especies gaseosas y particuladas sobre una superficie, para la deposición húmeda, se debe considerar la incorporación de contaminantes en las nubes que se liberan cuando hay una precipitación o una combinación de ambos, una vez más, este es un proceso complejo, que implica la intensidad de la lluvia, su origen y la exposición previa de la superficie. (Brimblecombe, 2003)

2.1.9.3. Efectos en la salud humana

- en el sistema respiratorio. asociados a infecciones respiratorias y sensibilización de las vías respiratorias, al ser inhalados los contaminantes atmosféricos.
- efectos en el sistema inmune. referido a esa población que sufre de algunas comorbilidades o sensibilidad de padecer enfermedades respiratorias alérgicas como el asma, rinitis, etc.; lo produce el ozono, el material suspendido y el dióxido de azufre.

- efectos en piel y tejidos mucosos, altamente irritante, edemas e inflamación de piel, ojos, nariz y garganta; estos producidos mayoritariamente por el ozono, las partículas suspendidas, el CO₂, N, SO₂.
- efectos al sistema nervioso central, apreciados en daños a las células nerviosas, por acumulación del Pb, elevado a la atmósfera desde las chimeneas de las fundiciones y escapes vehiculares, sin embargo, el polvo, puede servirle de medio de transporte.
- efectos al sistema cardiovascular, referido al agravamiento de las enfermedades cardiovasculares, que se dan por la reducción del oxígeno; lo provoca el CO₂, inhibiendo la absorción de oxígeno y en caso grave, paro cardíaco.
- efectos cancerígenos. como el cáncer de pulmón, al inhalar benceno y otros hidrocarburos aromáticos provenientes de los escapes de los vehículos; la contaminación atmosférica puede causar anemia y daños en el sistema nervioso.
- efectos en flora y fauna, se manifiestan directamente por cualquier forma de precipitación y dependerá del tipo de contaminante, es el caso más conocido de daño a la flora, es el producido por la lluvia ácida, con su principal componente, el SO₂; en cuanto a la fauna, en el proceso de inhalación, o indirectamente a través de las plantas y el agua; finalmente, los efectos en bienes materiales, generan corrosión en metales, pinturas, etc.
(SWISSCONTAC, 2004)

2.1.9.4. Efectos de acuerdo al recorrido

Los efectos de la contaminación se incrementan por acción de la meteorología, sobre esta base se ha elaborado la siguiente clasificación:

1. Efectos locales. Provocados por emisiones de fuentes pequeñas, en un radio de 10 km; este tipo de efectos se divide a la vez en:
 - daños en edificaciones, referidos principalmente a la corrosión química de metales, pinturas, vidrios, piedra, tela y daño a las estructuras de concreto.
 - reducción de la visibilidad, en el aire limpio y sin obstáculos, la visibilidad llega hasta los 250 km, pero esta disminuye con la presencia de aerosoles.
 - smog fotoquímico, se forma con el ozono y radicales de hidrógeno a nivel del suelo, produce irritación en los ojos y en la garganta.
2. Efectos regionales, las emisiones en las industrias y urbanizaciones abarcan hasta 100 km de radio, los efectos se asocian a las deposiciones ácidas, tanto húmedas, a través de lluvia ácida, nieve, granizo y neblina; así como secas, en forma de pequeñas partículas. Los daños son directos al suelo y agua, alterando el pH.
3. Efectos globales, se da por acumulación de contaminantes en la atmósfera, que van desde 100 km, hasta prácticamente todo el planeta; a su vez tenemos:

Destrucción de la capa de ozono; Los principales agentes son los clorofluorocarbonos (CFC), utilizados en sistemas de refrigeración, aire acondicionado y recipientes a presión. La disminución de O₃ estratosférico provocando cáncer de piel, efectos en la visión y reducción de la capacidad de realizar fotosíntesis en las plantas.

GEI, la emisión de gases como CO₂, NO₂, CH₄ y los CFC; provocan el cambio climático, sequías e inundaciones.

2.1.10 Características del distrito San Antonio

El distrito de San Jerónimo, caracteriza los siguientes detalles: Altitud de 3220 msnm, en la parte más baja del distrito, próxima a Angostura y la más alta a 4300 msnm, en la planicie de Huaccoto. Es atravesada por el río Huatanay de norte a suroeste, rodeada de las cadenas de Vilcanota y Vilcaconga.

Clima. Con característica entre seco y frígido, precipitaciones permanentes entre noviembre y febrero. Esta característica es común para la agricultura en la zona; así, la siembra o "Tarpuy" se da en primavera, el cultivo, "hallmay o poqochiy", en los meses de enero a marzo, mientras que la recolección o "cosecho" a partir de mayo.

Temperatura. La temperatura máxima no supera los 25 °C, en invierno (junio, julio), el clima es frío y la temperatura desciende hasta - 2 °C, pero el clima seco ayuda a sobrellevar esta condición.

Humedad. La humedad relativa promedio es 56%; en la estación lluviosa es de 70% y una mínima de 27% durante la estación seca, tal como refiere la estación meteorológica del CICCGA, instalado en la urbanización Constructores; de acuerdo a este, los vientos están influenciados por el paso de sistemas frontales de baja presión atmosférica, condicionados por la topografía, mientras que la velocidad del viento fluctúa entre 1,5 m/s y 2,5 m/s en un día habitual.

Radiación solar. La radiación en el distrito de San Jerónimo oscila entre 560 a 750 W/m², siendo alto el índice de radiación; incrementándose con la contaminación en todas sus formas.

2.2 Marco conceptual

- Aerosoles. Son partículas en suspensión que se presentan como líquidas o sólidas, excluyendo gotas de lluvia o nube. (Seinfeld & Pandis, 1998)
- Atmósfera. Capa que rodea la tierra, pudiendo alcanzar 100 km por encima de la litosfera, se compone de: 78% de N, 21% de O₂ y 1% de varios gases como Ar, Ne, CO₂, vapor de agua, entre otros compuestos inorgánicos. (MINAM 2012)
- Bióxido de azufre (SO₂). Se produce en el proceso de combustión de los hidrocarburos que contienen S, las emisiones de este contaminante provienen principalmente de la industria. (MINAM 2012)
- Bióxido de carbono (CO₂). Gas inorgánico que no tiene color, olor ni sabor y se produce por la respiración de los seres vivos, y cuando se queman combustibles fósiles. (MINAM 2012)
- Bióxido de nitrógeno (NO₂). Contaminante generado cuando el N contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión. (MINAM 2012)
- Calidad del aire. Condición de las concentraciones de los contaminantes en el aire ambiente. (MINAM 2012)
- Carbono Orgánico (OC). Cantidad de carbono combinado en compuestos orgánicos en el aire, determinada por oxidación catalítica de los compuestos del carbono presentes, es un agregado de cientos de componentes individuales con un rango de propiedades químicas y termodinámicas, formados por variados procesos, incluyendo combustión y formación Secundaria de Carbono Orgánico (SOC en inglés), el cual se origina en mayor

cantidad en presencia de precursores gaseosos (compuestos alifáticos o policíclicos) y altas temperaturas.

- Contaminación. Presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. En otros términos, es la alteración hecha o inducida por el hombre a la integridad física, biológica, química y radiológica del medio ambiente. (MINAM 2012)
- Control de emisiones. Conjunto de medidas tendentes a provocar la reducción en las emisiones de contaminantes al aire. (MINAM 2012)
- Dióxido de azufre (SO_2). Es un gas denso, más pesado que el aire y muy soluble en agua, que constituye el principal contaminante derivado del S presente en los combustibles, forma núcleos de condensación y por ello generan problemas de visibilidad en la atmósfera que corroen materiales y producen la lluvia ácida. (Kiely, 1999)
- Dióxido de Carbono (CO_2). Es el principal responsable del efecto invernadero, se produce por la combustión de carburantes fósiles y en la respiración de vegetales y animales, es parte importante en procesos como la fotosíntesis y la respiración; los productos fósiles referidos son el petróleo y carbón, que en conjunto llegan a ser un 22% de la actual concentración de CO_2 en la atmósfera, esto genera cambio climático que se siente en el Perú y que ya es conocido como uno de los más vulnerables al cambio de clima global. (Defensoría Del Pueblo, 2009)
- Gases de escape. Producidos por la quema de petróleo y gasolina en los motores de combustión, los cuales son dañinos a los seres humanos, a las plantas y a los animales. (MINAM 2012)

- Metales pesados. Todos los metales con una densidad elemental superior a 4.5 kg por litro y que son metabolizados y eliminados deficientemente por los organismos, causando diversos impactos tóxicos. (MINAM 2012)
- Metales. Los contaminantes atmosféricos que se emiten por la quema de combustibles fósiles tienen un grave impacto sobre los metales expuestos en el entorno construido provocando la pérdida de resistencia mecánica y el fracaso de los revestimientos de protección, hay muchos parámetros en la atmósfera que pueden influir en la corrosión de los metales, el proceso de degradación es una compleja interacción entre los químicos, los parámetros físicos y biológicos. (Brimblecombe, 2003)
- Metano (CH_4). Hidrocarburo gaseoso, inflamable e incoloro, este gas se encuentra presente en forma natural en cavernas profundas y minas, también es emitido por los procesos de descomposición anaeróbica de materia orgánica y en los pantanos. (MINAM 2012)
- Monóxido de carbono (CO). Gas venenoso, incoloro e inodoro, producido por la oxidación incompleta de combustibles de origen fósil. (MINAM 2012)
- Partícula. Materia sólida o líquida dispersa en el aire, de diámetro inferior a 500 μm , generada por los procesos de combustión, calentamiento, producción, transporte y manipulación de materiales pulverizados, está constituida por cenizas, humos, polvos, metales, etc. Como fuentes naturales se encuentran las áreas erosionadas, áreas sin pavimentación, emisiones volcánicas, etc., estas se presentan como PST, PM_{10} o $\text{PM}_{2.5}$. (MINAM 2012)
- Partículas - fracción fina ($\text{PM}_{2.5}$). Materia sólida o líquida dispersa en el aire, de diámetro inferior a 2.5 μm , conocidas también como fracción respirable, porque puede penetrar hasta vías respiratorias inferiores. Partículas - fracción

ultra fina, estas con tamaño menor a 1 μm de diámetro, se conocen como fracción ultra fina y es a las que parece atribuirse un mayor potencial de daño. (MINAM 2012)

- Partículas - fracción gruesa. Dentro de la fracción inhalable, se encuentran la fracción gruesa, que incluye las partículas con diámetros entre 2.5 y 10 μm ($\text{PM}_{10-21.5}$) y se sedimentan o depositan en vías respiratorias superiores. (MINAM 2012)
- Partículas - fracción inhalable (PM_{10}). Materia sólida o líquida dispersa en el aire, de diámetro inferior a 10 μm , dependiendo de su tamaño, pueden permanecer en suspensión en la atmósfera desde unos segundos a varios meses, se conocen también como fracción inhalable; una vez dentro del árbol respiratorio, dependiendo de sus propiedades específicas, se depositan en diferentes sitios, como fosas nasales, laringe, tráquea, bronquios, bronquíolos y sacos alveolares del pulmón. (MINAM 2012)
- Plomo (Pb): En los motores de los autos que trabajan con combustible, al quemarse la gasolina con PB, se producen sales como los cloruros, bromuros y óxidos que ingresan al ambiente a través de los tubos de escape, con efectos abrasivos en distintos materiales. (Aguilar, 1997)
- Smog: Se forma por la acumulación de agentes contaminantes en la atmósfera, entre estos agentes contaminantes están: monóxido de carbono, óxido de azufre y carbón que en general se presentan inicialmente como polvo negro que se forma por la quema incompleta de la gasolina y otros productos derivados del petróleo. (Vizcarra, 2006)

2.3 Antecedentes empíricos de la investigación (estado del arte)

Michael Faraday (1861), físico y químico británico, señala el hollín es un contaminante compuesto de carbono.

Londres (1950), grave episodio de contaminación por carbón.

Estados Unidos y Europa (1970), diversos estudios sobre el carbono negro y el hollín ponen de manifiesto su presencia y su capacidad de absorber la luz visible.

Ártico Oeste y el Polo Norte (1980), se detectan altas concentraciones de Carbono Negro en la troposfera y se estudia la influencia sobre el calor y la radiación en la zona.

Siglo XXI, los estudios sobre carbono negro son cada vez más numerosos y diversas entidades públicas comienzan a diseñar estrategias para su reducción y como parte de la acción frente al cambio climático.

David Najle Squella (2005) El estudio establece a través de una red de monitoreo de aire que consta de ocho (8) estaciones, y la determinación del carbono por el método de Coeficiente de Absorción Óptica de la atmósfera y la cantidad de luz atenuada por las partículas presentes en el aire.

A su vez, la cantidad de MP está relacionada con la cantidad de carbono elemental o inorgánico de hollín generado en la combustión de los derivados de petróleo o hidrocarburos.

Mayra Constanza Delgado Herrera y Diana Carolina Forero González (2008), investigan sobre la determinación de las concentraciones del OC y Carbono Elemental en los sitios de muestreo establecidos en las Áreas Metropolitanas de Cali y Valle de Aburrá, el Distrito Especial Industrial y Portuario de Barranquilla, y las ciudades de Bucaramanga, Nobsa y Pereira, Colombia (donde existen redes de

monitoreo ambiental que han evaluado anteriormente las concentraciones del MP con diámetros menores a 10 μm

J. Galarza, A. Campos (2010) Se realiza una evaluación del carbono negro como agente forzador del clima por emisiones vehiculares en la Zona Metropolitana del valle de México, el estudio forma parte del proyecto de colaboración “Mecanismos de formación de ozono, compuestos orgánicos volátiles y $\text{PM}_{2.5}$ y escenarios de medidas de control”, coordinado por el Instituto Nacional de Ecología ([INE], 2010) y la Universidad de Ehime de Japón.

Víctor A. Valdebenito Silva (2017) Se realiza una revisión bibliográfica descriptiva sobre el carbono Negro y sobre estimaciones de emisiones existen y sus incertidumbres, y cuáles son los efectos en el clima. Luego, en base a la bibliografía consultada, se obtendrán valores de factores de emisión para carbono negro para el sector transporte caminero (diésel y gasolina). De esta manera se logrará contribuir con el primer inventario de Carbono Negro para fuentes móviles.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

La concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino $\text{PM}_{2.5}$ presenta variaciones entre los puntos de monitoreo y periodos evaluados en el distrito de San Jerónimo, Cusco.

2.4.2 Hipótesis específicas

1. La concentración de material particulado fino $\text{PM}_{2.5}$ varía entre los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco.
2. La concentración estimada de Carbono Negro (BC) presenta diferencias espaciales entre los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco.

3. Existe relación directa entre la concentración de material particulado fino $PM_{2.5}$ y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco.

Variable independiente: Concentración de material particulado $PM_{2.5}$.

Dimensiones:

- Concentración de $PM_{2.5}$ por punto de monitoreo.
- Concentración de $PM_{2.5}$ por periodo evaluado.

Variable dependiente: Concentración de carbono negro (BC).

Dimensiones:

- Concentración estimada de BC.
- Distribución espacial de BC.
- Fracción másica de BC en $PM_{2.5}$.

2.5 Operacionalización de variables

La operacionalización de la variable independiente y variable dependiente se muestra en la **Tabla 3** y **Tabla 4**, respectivamente.

Tabla 3

VI: Concentración de material particulado $PM_{2.5}$

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión
Concentración de material particulado $PM_{2.5}$	El $PM_{2.5}$ corresponde a partículas suspendidas en el aire con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5	Se medirá mediante registros de concentración de $PM_{2.5}$ obtenidos en los puntos	Concentración de $PM_{2.5}$ por punto de monitoreo

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión
	micrómetros, capaces de permanecer en la atmósfera e ingresar al sistema respiratorio	de monitoreo del distrito de San Jerónimo durante los meses de mayo a agosto de 2019 y 2020	Concentración de PM _{2.5} por periodo evaluado

Tabla 4

VD: Concentración de carbono negro (BC)

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión
Concentración de carbono negro (BC)	El BC es un componente del material particulado fino originado principalmente por combustión incompleta de combustibles fósiles, biomasa y biocombustibles, caracterizado por su alta capacidad de absorción de radiación solar	Se estimará a partir del PM _{2.5} colectado en filtros, mediante el principio de absorción de luz por partículas, expresando los resultados como concentración atmosférica de BC y como fracción másica respecto al PM _{2.5}	Concentración estimada de BC Distribución espacial de BC Fracción másica de BC en PM _{2.5}

Tabla 5*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicador	Técnica	Instrumento	Criterio de evaluación	Tipo de valor
Concentración de material particulado PM_{2.5}	Concentración de PM _{2.5} por punto de monitoreo	- Valores de PM_{2.5} por punto. - Valores de PM_{2.5} por mes	Monitoreo ambiental instrumental y análisis documental	Ficha de registro de monitoreo ambiental	µg/m ³ /punto de monitoreo	Ordinal
	Concentración de PM _{2.5} por periodo evaluado	Valores de PM_{2.5} por año			µg/m ³ /periodo	Ordinal
Variables	Dimensiones	Indicador	Técnica	Instrumento	Criterio de evaluación	Tipo de valor
Concentración de carbono negro (BC)	Concentración estimada de BC	- Valores de BC por punto. - Valores de BC por mes.	Método de absorción de luz por partículas	Ficha de cálculo de BC.	µg/m ³	Ordinal
	Distribución espacial de BC	- Valores de BC por año. - Porcentaje de BC respecto al PM_{2.5}	y análisis documental	Registros de filtros.	Adimensional	Ordinal
	Fracción másica de BC en PM _{2.5}			Ficha de procesamiento de datos	% másico	Ordinal

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 Ámbito de estudio

a. Localización política

País	:	Perú
Región	:	Cusco
Provincia	:	Cusco
Distrito	:	San Jerónimo

b. Localización geográfica

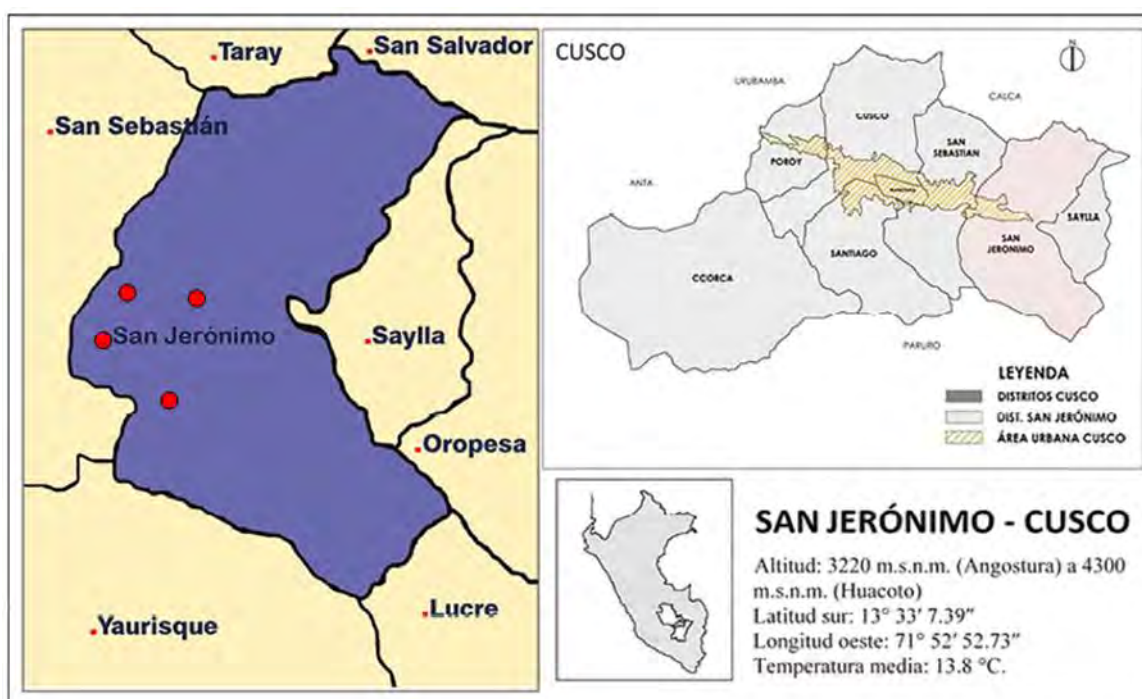
El distrito de San Jerónimo está localizado entre las siguientes coordenadas UTM WGS 84: Sub cuenca Huaccoto, Poblado de Huaccoto: 191 426 E y 8 504 402 N Sub cuenca Kyra, Granja Kayra, UNSAAC: 188 925 E y 8 499 378 N Sub cuenca Soncco, poblado de Soncco: 187 679 E y 8 496 048 N Sub cuenca Huanacaure, cerro Huanacaure: 185 564 E y 8 495 258 N Sub cuenca Picol, cerro Picol: 187 056 E y 8 504 459 N.

San Jerónimo tiene una extensión aproximada de 93.58 km² y sus límites son:

- Por el Norte: distrito de Taray, San Salvador
- Por el Este: distrito de Saylla
- Por el Sur: distritos de Lucre y Yaurisque
- Por el Oeste: distrito de San Sebastián

Figura 7

Puntos de monitoreo de PM_{2.5} y BC en el distrito de San Jerónimo



Nota. Adaptado del Plan de desarrollo concertado, San Jerónimo, 2023

La elección de los puntos de estudio se basa en características de emisiones por material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, referidas a las fuentes fijas y móviles, seguridad de ubicación de los equipos, condiciones meteorológicas, en el área de influencia del distrito de San Jerónimo.

Tabla 6.

Identificación de los puntos de monitoreo

Código	Punto de monitoreo	Criterio de selección
PM-01	Pillao Matao	Cercanía a hornos/ladrilleras
PM-02	Los Trigales	Influencia de fuentes fijas
PM-03	Sucso Aucaylle / Villa El Sol	Zona poblada y fuentes de emisión
PM-04	Urb. Constructores	Alto tránsito vehicular

3.2 Puntos de monitoreo

3.2.1 Punto de monitoreo 1: Pillao Matao

Latitud: 13°33'3.01" S, Longitud: 71°53'46.91" W Altitud: 3195 msnm

Con característica especial de emisiones móviles como el tránsito vehicular, así como actividades de fuentes fijas como los hornos de tejas y ladrillos, quema de biomasa domésticas, por tanto, la presencia constante del Material Particulado PM_{2.5} y con valores que determinadas horas del día superan ampliamente los estándares de calidad de aire vigentes en nuestro país.

Figura 8

Punto de monitoreo 1: Pillao Matao



Nota. Proyecto Canon 2019-2020

Cada zona de monitoreo fue caracterizada mediante un punto fijo representativo; por tanto, los resultados corresponden exclusivamente a dichos puntos.

3.2.2 Punto de monitoreo 2: Los Trigales

Latitud: 13°33'6.43" S Longitud: 71°53'48.68" W Altitud: 3202 msnm

El punto de muestreo se encuentra entre la avenida de la Cultura, y las vías de Evitamiento y Expresa, además de la alta densidad poblacional, tiene influencia de emisiones fijas del sector ladrillero, como de alto tránsito vehicular, mediana industria referidas a la actividad metal mecánica, así como prevalencia en la direccionalidad del viento en San Jerónimo a partir del mediodía y que incide en la mayor concentración del PM_{2.5}.

Figura 9

Punto de monitoreo Los Trigales



Nota. Proyecto Canon 2019-2020

Cada zona de monitoreo fue caracterizada mediante un punto fijo representativo; por tanto, los resultados corresponden exclusivamente a dichos puntos.

3.2.3 Punto de monitoreo 3: Sucso Aucaylle

Latitud: 13°33'6.43" S Longitud: 71°53'48.68" W Altitud: 3202 msnm

Este punto de estudio está ubicado al final del corredor ladrillero del distrito, hasta la quebrada de Kayra Pampa, con una característica de emisiones muy pronunciadas referidas a fuentes móviles por vehículos de transporte urbano y privado con accesos sin asfaltar, actividades domésticas y fuentes fijas de hornos de tejas y ladrillos, generándose, por tanto, concentraciones de material particulado PM_{2.5} de gran incidencia.

Figura 10

Punto de monitoreo 3: Villa el Sol



Nota. Proyecto Canon 2019-2020

Cada punto de monitoreo fue caracterizado mediante un punto fijo representativo; por lo tanto, los resultados corresponden exclusivamente a dichos puntos.

Las características fisiográficas se determinan por la escasa dispersión de aire siendo una de los puntos que presenta procesos de inversión térmica más frecuentes en especial en época de invierno, además dicha punto de monitoreo brinda facilidades de acceso y seguridad. Cuenta con una densidad poblacional de centros educativos cercanos a los puntos de monitoreo.

3.2.4 Punto de monitoreo 4: Urb. Constructores - San Jerónimo

Próxima a la Avenida de la Cultura, próxima a la empresa MAESTRO y el Centro Penitenciario de Qeqoro, con una característica fisiográfica muy especial por encontrarse muy cercana a una de las fuentes de emisión móviles más considerables del distrito de San Jerónimo, afectando, por tanto, a la calidad del aire, exponiendo a cualquier mal a las poblaciones de riesgo.

Figura 11

Punto de monitoreo 4, Urb. Constructores



Nota. Fotografía propia

Cada zona de monitoreo fue caracterizada mediante un punto fijo representativo; por tanto, los resultados corresponden exclusivamente a dichos puntos.

3.3 Tipo de investigación

El trabajo de investigación, es de carácter explicativo - predictivo, pues explica las variaciones de BC determinado a partir del MP y se predice su actuación en años posteriores.

Nivel de investigación. Corresponde a un estudio aplicado, pues se utilizan los conocimientos sobre el BC y MP, y como es su relación en el tiempo.

Diseño. No experimental, dado que no se pueden manipular los datos de las emisiones de BC ni del MP, y transversal, dado que se realiza entre 2019-2020.

Enfoque de la investigación. Cuantitativo, se pueden analizar estadísticamente los datos registrados.

3.4 Unidad de análisis

En el estudio se busca generar nueva información de la concentración de BC, que disminuye la calidad del aire del distrito de San Jerónimo, teniendo en cuenta los procedimientos. Se recoge la información en los puntos de monitoreo.

3.5 Población de estudio

La población, estuvo conformada por el conjunto de registros o mediciones ambientales de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ y BC en el aire del distrito de San Jerónimo, Cusco, correspondientes al periodo mayo-agosto de 2019-2020.

3.6 Tamaño de muestra

El estudio analizó registros disponibles de $PM_{2.5}$ y BC correspondientes a los meses de mayo-agosto de 2019-2020. La información meteorológica fue empleada

únicamente como información complementaria para interpretar la dispersión de contaminantes.

3.7 Técnicas de selección de muestra

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia e intencional, debido a que los puntos de monitoreo fueron seleccionados con base en criterios técnicos: presencia de fuentes emisoras fijas y móviles, flujo vehicular, densidad poblacional, accesibilidad, seguridad para la instalación de equipos, disponibilidad de registros ambientales y condiciones representativas del área de influencia inmediata.

3.8 Técnicas de recolección de información

3.8.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica empleada fue la observación del monitoreo ambiental instrumental de la calidad del aire, debido a que la información se obtuvo mediante mediciones de concentración de material particulado PM₂₅ y BC en puntos de monitoreo preestablecidos en el distrito de San Jerónimo.

Asimismo, se empleó la técnica de análisis documental de registros ambientales, debido a que se utilizaron datos de monitoreo generados por el CICCGA de la UNSAAC, correspondiente al periodo 2019-2020.

3.8.2 Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos fue la ficha de registro de monitoreo ambiental, en la cual se consignaron los valores obtenidos durante el monitoreo de aire. Entre otros datos, se consideró el punto de monitoreo, ubicación, fecha, hora, parámetro evaluado, unidad de medida, concentración registrada, equipo utilizado y observaciones de campo. La información registrada de muestra en la **Tabla 6**.

Tabla 7*Datos para la ficha técnica*

Datos registrados	Descripción
Código del punto de monitoreo	Punto 1, 2,3,4,
Ubicación del punto	Lugar de monitoreo en el distrito de San Jerónimo
Fecha de monitoreo	Día, mes y año de la medición
Hora de medición	Hora de inicio y término del registro
Parámetro evaluado	PM _{2.5} y BC
Unidad de medida	µg/m ³
Valor registrado	Concentración obtenida
Equipo utilizado	AEROQUAL, PURPLE AIR o LAHM
Observaciones de campo	Condiciones del entorno, tránsito, fuentes cercanas u otros datos relevantes

3.8.3 Equipos de medición

Se consideró lo establecido en la NTP 900.030 2003, sobre "métodos de referencia para la determinación de material particulado respirable en la atmósfera", con la utilización de analizadores automáticos de partículas marca AEROQUAL S500 y sensores de MP de bajo costo de marca PURPLE AIR, del CICCGA de la UNSAAC.

Los equipos empleados para la medición ambiental fueron el instrumento óptico de absorción de partículas de luz, *Light Absorbing Heald Method* (LAHM)-, el analizador de gases y MP AEROQUAL, el sensor de partículas PURPLE AIR y la cámara fotográfica digital Sony. Estos equipos no deben confundirse como técnicas ni instrumentos estadísticos de recolección de datos.

Los materiales utilizados fueron, filtros de teflón, plano de ubicación de la ciudad del Cusco, GPS, pluviómetro manual, guantes de látex y agua desionizada.

Tabla 8*Técnicas de recolección de datos*

Elemento metodológico	Descripción corregida	Aplicación en la investigación
Técnica de recolección de datos	Monitoreo ambiental instrumental	Permitió obtener datos de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ y BC en los puntos de monitoreo establecidos en el distrito de San Jerónimo
Técnica complementaria	Análisis documental de registros ambientales	Se utilizó para revisar y sistematizar los reportes o registros generados por el CICCGA de la UNSAAC.
Instrumento de recolección de datos	Ficha de registro de monitoreo ambiental	Sirvió para registrar los valores obtenidos durante el monitoreo: punto de monitoreo, fecha, hora, parámetro, unidad de medida, concentración registrada, equipo utilizado y observaciones.
Equipos de medición ambiental	LAHM, AEROQUAL y PURPLE AIR	Permitieron medir o determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ y BC. No son técnica ni instrumento estadístico; son equipos técnicos de medición.
Equipo de registro visual	Cámara fotográfica digital Sony	Se utilizó para evidenciar las zonas de monitoreo, ubicación de equipos y condiciones ambientales del área evaluada.
Materiales de campo y laboratorio	Filtros de teflón, guantes de látex, agua desionizada	Se emplearon para la captación, manipulación y conservación de muestras de MP
Materiales de ubicación y apoyo	Plano de ubicación, GPS y pluviómetro manual	Permitieron ubicar los puntos de monitoreo, georreferenciarlos y complementar la información ambiental del estudio
Herramienta de procesamiento de datos	Programa Excel	Se utilizó para organizar la base de datos, elaborar tablas, gráficos y realizar cálculos estadísticos preliminares
Técnicas de análisis estadístico	Estadística descriptiva, regresión lineal y relación	Permitieron analizar el comportamiento de $PM_{2.5}$ y BC, así como la relación entre ambas variables
Prueba estadística complementaria	T de Student	Solo debe utilizarse si se comparan medias entre dos grupos o periodos. No debe presentarse como prueba principal si el objetivo central es relacional

3.9 Procedimiento de medición

3.9.1 Análisis

3.9.1.1. Para el PM_{2.5}

Para el análisis del material particulado PM_{2.5}, se consideraron los registros obtenidos en los 4 puntos de monitoreo establecidas en el distrito de San Jerónimo: Pillao Matao, Los Trigales, Sucso Aucaylle y Urbanización Constructores.

Los datos fueron organizados por punto de monitoreo, fecha y concentración registrada, expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Posteriormente, se calcularon medidas estadísticas descriptivas, tales como promedio, valor mínimo, valor máximo y desviación estándar, con la finalidad de caracterizar el comportamiento del PM_{2.5} en cada punto evaluada.

Asimismo, se elaboraron tablas y gráficos comparativos para identificar los puntos con mayor y menor concentración de MP. La interpretación de los resultados se realizó considerando las posibles fuentes de emisión presentes en cada punto, tales como tránsito vehicular, hornos de tejas y ladrillos, quema de biomasa y polvo Re suspendido.

DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PM_{2.5} EN LOS CUATRO PUNTOS DE ESTUDIO

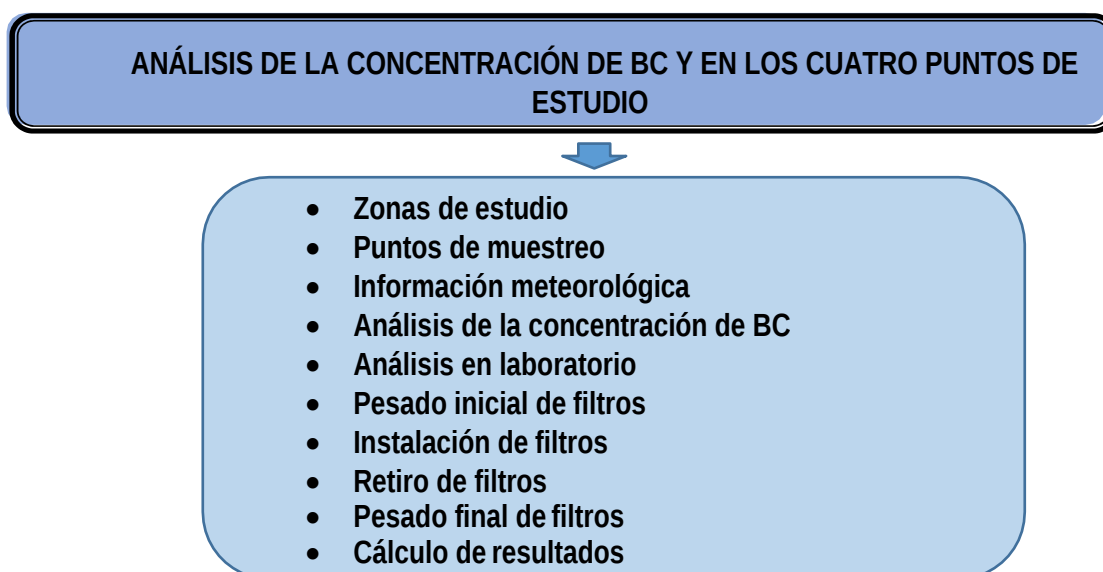
- **Determinación de PM en equipos portátiles.**
- **Cálculos de determinación**
- **Instalación de equipos para determinación de PM_{2.5}**
- **Interpretación de los datos obtenidos**

3.9.1.2. Para BC

Para el análisis del BC se consideraron los mismos 4 puntos de monitoreo utilizados para la evaluación del PM_{2.5}: Pillao Matao, Los Trigales, Sucso Aucaylle y Urbanización Constructores.

Los valores de BC fueron determinados a partir del MP recolectado y analizado mediante el método de absorción de luz. Posteriormente, las concentraciones obtenidas fueron organizadas por punto de monitoreo y comparadas entre sí, con la finalidad de identificar la distribución espacial del BC en el distrito de San Jerónimo.

La interpretación se realizó considerando que el BC constituye una fracción del MP fino asociada principalmente a procesos de combustión incompleta.



3.9.2 *Determinación del PM_{2.5} mediante el método de Contador de partículas láser*

Se realizó mediante los sensores PurpleAir, estos utilizan contadores de partículas láser, cuentan el número de partículas por tamaño de partículas 0.3, 0.5,

1, 2.5, 5 y 10 μm , y usan los datos de conteo para calcular las concentraciones de masa de $\text{PM}_{2.5}$ bajo condiciones ambientales.

Tabla 9

Procedimiento toma datos en filtro de teflón

Procedimiento	Método	N° de muestras
Para la determinación del PM_{10} , se realizó lo siguiente:	Actividades	Acorde a las precipitaciones
• Elección del lugar de muestreo para la instalación de los equipos PM_{10}	Contador de partículas Laser Instrumento LAHM	
• Identificación de la muestra		
• Verificación y calibración del equipo	Se utilizó	
• Instalación del equipo en el punto de monitoreo	01 equipo, con filtros de teflón. Se realizó la medición del flujo	
• Pesado de filtros en laboratorio e instalación de filtros	Se colectó agua en cada precipitación	
• Operación del equipo HIVOL en el punto de monitoreo	Análisis de los filtros Se procedió a pesar la muestra, para determinar la concentración de PM_{10} en el filtro.	
• Retiro de filtros		
• Almacenaje de filtros muestreados		

Nota. Proyecto Canon 2019-2020

3.9.3 Descripción del equipo Purple Air

Purple Air utiliza contadores para partículas y con sensores láser, recuenta estas, utilizando algoritmos complejos para calcular la concentración másica.

Especificaciones del equipo

Los sensores PurpleAir miden las partículas en suspensión en el aire (PM).

La materia particulada describe partículas sólidas suspendidas en el aire; esto incluye polvo, humo y otras partículas orgánicas e inorgánicas.

Tabla 10*Características generales del filtro de PM_{2.5}*

Material	Fibra de teflón politetrafluoroetileno (PTFE)
Tamaño	37 mm
Porosidad	2.0 µm
Calidad	Sin presentar daños en el material
Eficiencia	99% mínimo, sistema de carácter gravimétrico
Integridad	Máxima pérdida de peso, hasta 2.4 mg
Resistencia al rasgado	Mínimo 500 g para la dimensión de menor resistencia
Fragilidad	Cuando se hace un doblez longitudinal no debe presentarse rajadura o separación de material.

Funcionamiento del equipo

Los sensores PurpleAir utilizan contadores láser PMSX003 para medir el material particulado en tiempo real, con cada contador láser alternando lecturas de 5 segundos con un promedio de 120 segundos.

Cada contador láser utiliza un ventilador para extraer una muestra de aire a través de un rayo láser.

El rayo de estos láseres de clase IIIA / 3R reflejará la luz de cualquier partícula presente en una placa de detección, como polvo brillando en un rayo de Sol.

La reflexión se mide como un pulso por la placa de detección, y la longitud del pulso determina el tamaño de la partícula, mientras que el número de pulsos determina el recuento de partículas.

Estos recuentos de partículas se utilizan para calcular las concentraciones de masa de PM_{1.0}, PM_{2.5} y PM₁₀ para partículas estándar en interiores (CF_1) y exteriores (ATM).

3.9.4 Descripción del equipo de partículas absorbentes el luz

El instrumento LAHM es un instrumento de “primeros principios” que aprovecha las leyes básicas de la física. Las partículas, que se capturan en un filtro, están expuestas a la luz visible. Las partículas absorben la luz visible y como resultado aumentan la temperatura.

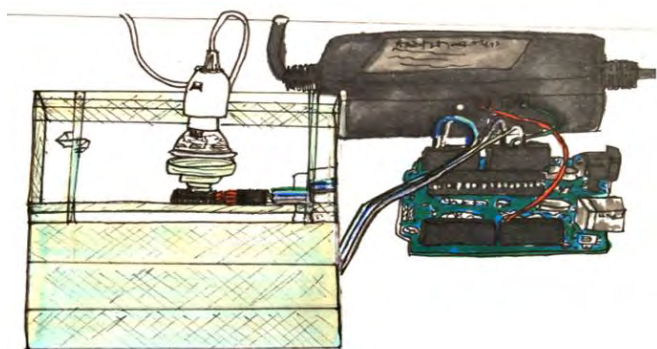
El aumento de temperatura puede estar directamente relacionado con la masa de partículas en el filtro mediante el uso de filtros de calibración con cantidades conocidas de materiales que absorben la luz. En la práctica, no es tan simple, debido a la variabilidad de la sección transversal de absorción de masa (MAC) de diferentes partículas.

Se ha demostrado que diferentes tipos de hollín difieren en un factor de dos en MAC, y el polvo puede tener un MAC 60 veces más pequeño que el hollín. Por esa razón, los resultados del instrumento LAHM deben incluir una referencia al material de calibración.

Por ejemplo, las partículas en un filtro absorben la misma cantidad de luz que 20 μm de BC tipo fullereno (un hollín industrial que se usa a menudo para calibrar instrumentos de medición de BC).

Figura 12

LAHM y sus accesorios



Nota. Tomado de Schmitt Carl & Ariana Kendal

3.10 Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para el procesamiento de la información se empleó el programa Excel, mediante el cual se organizaron los datos, se elaboraron tablas y gráficos, y se aplicaron procedimientos estadísticos descriptivos e inferenciales.

Para la contrastación de las hipótesis planteadas en la investigación, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, considerando la naturaleza cuantitativa de los datos obtenidos en el monitoreo ambiental. Las variables analizadas fueron la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ y la concentración de BC, ambas expresadas en $\mu g/m^3$.

En primer lugar, se realizó la organización y depuración de la base de datos, considerando los registros obtenidos en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo. Posteriormente, se aplicó estadística descriptiva mediante el cálculo de promedios, valores mínimos, valores máximos y desviación estándar, con la finalidad de caracterizar el comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y BC.

Para contrastar las hipótesis específicas relacionadas con la determinación de la concentración de $PM_{2.5}$ y la distribución espacial del BC, se utilizaron tablas, gráficos comparativos y medidas descriptivas. Este análisis permitió identificar los puntos con mayores y menores concentraciones de contaminantes atmosféricos.

Para contrastar la hipótesis referida a la relación entre el material particulado $PM_{2.5}$ y el BC, se aplicó una prueba de relación estadística. Previamente, se evaluó la normalidad de los datos con la finalidad de seleccionar la prueba respondiente. En caso de que los datos presentaran distribución normal, se aplicó la relación de Pearson; en caso contrario, se aplicó la relación de Spearman.

El nivel de significancia estadística considerado fue de 0,05. Por tanto, si el valor de significancia fue menor o igual a 0,05, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna. En cambio, si el valor de significancia fue mayor a 0,05, no se rechazó la hipótesis nula. Asimismo, se aplicó regresión lineal simple para analizar el grado de asociación entre la concentración de $PM_{2.5}$ y la concentración de BC. Este análisis permitió evaluar si el incremento del MP se relaciona con el incremento del BC en los puntos de monitoreo evaluadas.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Procesamiento del monitoreo de PM_{2.5}

4.1.1 Monitoreo ambiental

4.1.1.1. Punto de monitoreo 01 (2019): Pillao Matao

Tabla 11

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 01, mayo-agosto, 2019

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2019	37.56	1/06/2019	65.15	1/07/2019	61.356	1/08/2019	57.65
2/05/2019	22.54	2/06/2019	61.36	2/07/2019	35.648	2/08/2019	41.36
3/05/2019	39.47	3/06/2019	47.53	3/07/2019	19.785	3/08/2019	35.85
4/05/2019	67.65	4/06/2019	65.29	4/07/2019	17.530	4/08/2019	33.21
5/05/2019	77.49	5/06/2019	46.32	5/07/2019	48.77	5/08/2019	68.66
6/05/2019	80.29	6/06/2019	54.36	6/07/2019	49.97	6/08/2019	69.50
7/05/2019	83.72	7/06/2019	47.61	7/07/2019	65.27	7/08/2019	72.66
8/05/2019	80.63	8/06/2019	61.98	8/07/2019	59.41	8/08/2019	65.82
9/05/2019	64.13	9/06/2019	60	9/07/2019	40.62	9/08/2019	41.96
10/05/2019	85.66	10/06/2019	57.29	10/07/2019	40.93	10/08/2019	46.87
11/05/2019	79.63	11/06/2019	59.42	11/07/2019	52.94	11/08/2019	69.96
12/05/2019	78.72	12/06/2019	50.78	12/07/2019	47.08	12/08/2019	45.28
13/05/2019	92.64	13/06/2019	40.61	13/07/2019	52.35	13/08/2019	49.47
14/05/2019	50.58	14/06/2019	41.32	14/07/2019	64.73	14/08/2019	50.92
15/05/2019	49.87	15/06/2019	55.13	15/07/2019	52.37	15/08/2019	53.47
16/05/2019	52.58	16/06/2019	36.49	16/07/2019	63.12	16/08/2019	49.85
17/05/2019	67.52	17/06/2019	67.45	17/07/2019	58.57	17/08/2019	52.54
18/05/2019	81.36	18/06/2019	31.57	18/07/2019	42.42	18/08/2019	39.62
19/05/2019	74.08	19/06/2019	33.63	19/07/2019	60.14	19/08/2019	58.31
20/05/2019	78.05	20/06/2019	39.13	20/07/2019	74.24	20/08/2019	77.01
21/05/2019	73.95	21/06/2019	41.2	21/07/2019	74.06	21/08/2019	71.21
22/05/2019	76.1	22/06/2019	64.87	22/07/2019	88.03	22/08/2019	61.54
23/05/2019	71.41	23/06/2019	50.22	23/07/2019	33.36	23/08/2019	48.23
24/05/2019	73.76	24/06/2019	52.31	24/07/2019	34.24	24/08/2019	40.66
25/05/2019	75.57	25/06/2019	51.01	25/07/2019	30.46	25/08/2019	46.79
26/05/2019	71.4	26/06/2019	48.5	26/07/2019	39.03	26/08/2019	48.15
27/05/2019	78.13	27/06/2019	49.78	27/07/2019	35.19	27/08/2019	31.48
28/05/2019	76.29	28/06/2019	52.21	28/07/2019	49.93	28/08/2019	31.41
29/05/2019	72.48	29/06/2019	52.05	29/07/2019	52.72	29/08/2019	47
30/05/2019	54.58	30/06/2019	49.48	30/07/2019	71.76	30/08/2019	45.29
31/05/2019	50.21			31/07/2019	52.81	31/08/2019	51.7
Total	2118.05		1534.04		1568.84		1603.43

4.1.1.2. Punto de monitoreo 02 (2019): Los Trigales

Tabla 12

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 02, mayo-agosto, 2019

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2019	61.36	1/06/2019	52.59	1/07/2019	63.67	1/08/2019	53.45
2/05/2019	87.65	2/06/2019	37.56	2/07/2019	39.41	2/08/2019	59.96
3/05/2019	80.58	3/06/2019	56.46	3/07/2019	17.53	3/08/2019	41.56
4/05/2019	70.12	4/06/2019	60.21	4/07/2019	21.91	4/08/2019	36.58
5/05/2019	65.08	5/06/2019	61.66	5/07/2019	20.98	5/08/2019	60.2
6/05/2019	44.83	6/06/2019	60.04	6/07/2019	20.48	6/08/2019	49.41
7/05/2019	62.78	7/06/2019	60.75	7/07/2019	19.01	7/08/2019	665.04
8/05/2019	40.96	8/06/2019	70.73	8/07/2019	24.08	8/08/2019	54.88
9/05/2019	47.46	9/06/2019	59.78	9/07/2019	19.01	9/08/2019	65.99
10/05/2019	44.18	10/06/2019	67.44	10/07/2019	24.08	10/08/2019	69.56
11/05/2019	43.12	11/06/2019	56.52	11/07/2019	43.12	11/08/2019	49.6
12/05/2019	55.9	12/06/2019	53.61	12/07/2019	51.14	12/08/2019	19.13
13/05/2019	45.74	13/06/2019	67.75	13/07/2019	51.07	13/08/2019	39.86
14/05/2019	45.85	14/06/2019	69.59	14/07/2019	45.73	14/08/2019	39.36
15/05/2019	60.44	15/06/2019	72.92	15/07/2019	48.24	15/08/2019	33.61
16/05/2019	47.09	16/06/2019	65.52	16/07/2019	65.44	16/08/2019	35.72
17/05/2019	46.28	17/06/2019	42.6	17/07/2019	76.93	17/08/2019	42.67
18/05/2019	45.53	18/06/2019	46.08	18/07/2019	66.06	18/08/2019	49.89
19/05/2019	41.25	19/06/2019	70.74	19/07/2019	59.41	19/08/2019	83.87
20/05/2019	42.86	20/06/2019	46.14	20/07/2019	49.72	20/08/2019	53.51
21/05/2019	56.66	21/06/2019	49.95	21/07/2019	49.23	21/08/2019	48.88
22/05/2019	78.09	22/06/2019	50.33	22/07/2019	54.02	22/08/2019	65
23/05/2019	70.7	23/06/2019	53.51	23/07/2019	51.39	23/08/2019	58.37
24/05/2019	81.99	24/06/2019	48.88	24/07/2019	50.35	24/08/2019	55.39
25/05/2019	68.68	25/06/2019	80.49	25/07/2019	51.61	25/08/2019	69.59
26/05/2019	44.17	26/06/2019	54.06	26/07/2019	45.22	26/08/2019	57.02
27/05/2019	75.83	27/06/2019	58.09	27/07/2019	51	27/08/2019	55.98
28/05/2019	77.73	28/06/2019	56.41	28/07/2019	16.83	28/08/2019	55.61
29/05/2019	85.75	29/06/2019	27.5	29/07/2019	21.48	29/08/2019	46.08
30/05/2019	69.73	30/06/2019	17.8	30/07/2019	20.85	30/08/2019	52.99
31/05/2019	54.16			31/07/2019	48.07	31/08/2019	46.14
Total	1842.55		1675.71		1287.08		2214.90

Nota. En los primeros días se aprecia mayor presencia de MP. Aunque los valores

superan los ECA, no representan mayor afectación a la población.

4.1.1.3. Punto de monitoreo 03 (2019): Sucso Aucaylle

Tabla 13

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 03, mayo-agosto, 2019

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2019	93.91	1/06/2019	72.10	1/07/2019	29.53	1/08/2019	27.30
2/05/2019	70.12	2/06/2019	53.60	2/07/2019	46.36	2/08/2019	25.77
3/05/2019	57.53	3/06/2019	17.53	3/07/2019	60.27	3/08/2019	19.52
4/05/2019	80.12	4/06/2019	26.30	4/07/2019	57.57	4/08/2019	15.71
5/05/2019	49.95	5/06/2019	37.96	5/07/2019	52.91	5/08/2019	56
6/05/2019	50.33	6/06/2019	27.03	6/07/2019	54.31	6/08/2019	68.97
7/05/2019	53.51	7/06/2019	37.99	7/07/2019	56.05	7/08/2019	72.24
8/05/2019	48.88	8/06/2019	61.68	8/07/2019	53.34	8/08/2019	48.48
9/05/2019	50.92	9/06/2019	40.68	9/07/2019	75.02	9/08/2019	51.81
10/05/2019	53.88	10/06/2019	46.83	10/07/2019	62.64	10/08/2019	61.41
11/05/2019	58.03	11/06/2019	45.97	11/07/2019	51.76	11/08/2019	54.66
12/05/2019	39.11	12/06/2019	47.93	12/07/2019	42.94	12/08/2019	21.74
13/05/2019	15.31	13/06/2019	38.66	13/07/2019	59.75	13/08/2019	19.6
14/05/2019	29.12	14/06/2019	54.86	14/07/2019	50.25	14/08/2019	19
15/05/2019	43.41	15/06/2019	59.32	15/07/2019	54.76	15/08/2019	22.78
16/05/2019	22.74	16/06/2019	50.77	16/07/2019	64.12	16/08/2019	17.27
17/05/2019	24.89	17/06/2019	49.12	17/07/2019	60.67	17/08/2019	26.47
18/05/2019	30.65	18/06/2019	52.9	18/07/2019	60.32	18/08/2019	47.48
19/05/2019	37.95	19/06/2019	44.62	19/07/2019	62.23	19/08/2019	47.31
20/05/2019	29.85	20/06/2019	46.57	20/07/2019	69.56	20/08/2019	47.37
21/05/2019	38.27	21/06/2019	50.33	21/07/2019	53.4	21/08/2019	53.04
22/05/2019	56.84	22/06/2019	52.58	22/07/2019	65.37	22/08/2019	64.6
23/05/2019	49.29	23/06/2019	46.33	23/07/2019	56.96	23/08/2019	53.12
24/05/2019	45.97	24/06/2019	42.6	24/07/2019	55.69	24/08/2019	34.52
25/05/2019	47.93	25/06/2019	45.46	25/07/2019	68.22	25/08/2019	47.83
26/05/2019	44.6	26/06/2019	48.29	26/07/2019	75.69	26/08/2019	48.79
27/05/2019	54.73	27/06/2019	50.99	27/07/2019	81.58	27/08/2019	46.91
28/05/2019	46.1	28/06/2019	49.13	28/07/2019	86.22	28/08/2019	42.49
29/05/2019	26.02	29/06/2019	62.14	29/07/2019	80.65	29/08/2019	54.08
30/05/2019	40.85	30/06/2019	64	30/07/2019	70.93	30/08/2019	56.05
31/05/2019	40.27			31/07/2019	55.3	31/08/2019	56.97
Total	1431.08		1424.26		1874.37		1329.30

Nota. En el mes de junio existe menor presencia de material particulado (PM₁₀), los que reportan datos promedio, aunque no superan los ECA, estos indican que su presencia no es nociva para la salud pública.

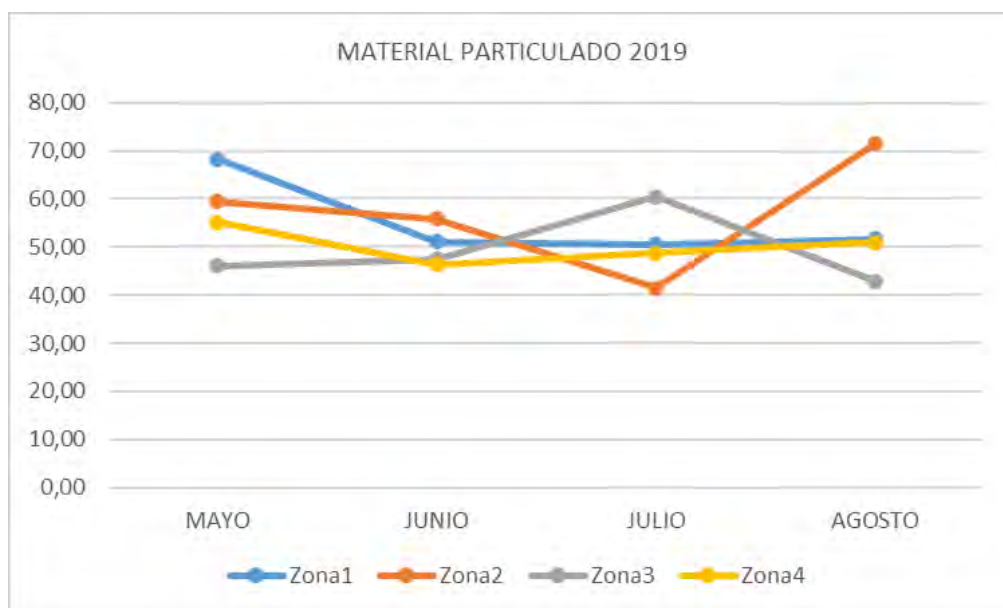
4.1.1.4. Punto de monitoreo 04 (2019): Urb. Constructores - San Jerónimo

Tabla 14

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 04, mayo-agosto, 2019

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2019	57.82	1/06/2019	27.13	1/07/2019	13.66	1/08/2019	22.87
2/05/2019	34.72	2/06/2019	29.18	2/07/2019	19.05	2/08/2019	14.29
3/05/2019	30.96	3/06/2019	21.01	3/07/2019	24.58	3/08/2019	20.26
4/05/2019	36.62	4/06/2019	18.12	4/07/2019	23.18	4/08/2019	24.92
5/05/2019	46.23	5/06/2019	32.08	5/07/2019	50.95	5/08/2019	54.88
6/05/2019	50.15	6/06/2019	33.67	6/07/2019	55.24	6/08/2019	57.71
7/05/2019	50.38	7/06/2019	52.44	7/07/2019	55.98	7/08/2019	73.3
8/05/2019	40.99	8/06/2019	70.12	8/07/2019	52.57	8/08/2019	60.27
9/05/2019	23.66	9/06/2019	44.28	9/07/2019	55.77	9/08/2019	59.16
10/05/2019	50.85	10/06/2019	63.7	10/07/2019	41.56	10/08/2019	56.02
11/05/2019	65.76	11/06/2019	44.78	11/07/2019	40.75	11/08/2019	51.52
12/05/2019	58.2	12/06/2019	50.82	12/07/2019	45.83	12/08/2019	71.76
13/05/2019	67.09	13/06/2019	75.43	13/07/2019	44.29	13/08/2019	72.46
14/05/2019	60.24	14/06/2019	84.3	14/07/2019	46.29	14/08/2019	78.05
15/05/2019	60.15	15/06/2019	34.02	15/07/2019	47.91	15/08/2019	86.63
16/05/2019	58.76	16/06/2019	44.8	16/07/2019	44.52	16/08/2019	79.68
17/05/2019	58.11	17/06/2019	51.2	17/07/2019	42.86	17/08/2019	77.65
18/05/2019	60.34	18/06/2019	56.28	18/07/2019	55.08	18/08/2019	56.59
19/05/2019	67.72	19/06/2019	56.18	19/07/2019	60.7	19/08/2019	53.12
20/05/2019	56.7	20/06/2019	53.52	20/07/2019	52.58	20/08/2019	68.88
21/05/2019	69.04	21/06/2019	46.49	21/07/2019	57.1	21/08/2019	71.07
22/05/2019	64.76	22/06/2019	36.94	22/07/2019	54.3	22/08/2019	70.7
23/05/2019	57.85	23/06/2019	40.53	23/07/2019	76.09	23/08/2019	53.04
24/05/2019	63.8	24/06/2019	43.19	24/07/2019	63.41	24/08/2019	59.79
25/05/2019	68.22	25/06/2019	51.91	25/07/2019	48.38	25/08/2019	55.2
26/05/2019	65.09	26/06/2019	53.06	26/07/2019	45.08	26/08/2019	25.68
27/05/2019	67.27	27/06/2019	30.17	27/07/2019	61.17	27/08/2019	17.9
28/05/2019	63.34	28/06/2019	46.85	28/07/2019	50.05	28/08/2019	21.08
29/05/2019	53.29	29/06/2019	49.9	29/07/2019	52.69	29/08/2019	20.33
30/05/2019	51.31	30/06/2019	50.55	30/07/2019	62.3	30/08/2019	18.98
31/05/2019	49.82			31/07/2019	66.4	31/08/2019	24.96
Total	1709.24		1392.65		1510.32		1578.75

Nota. Durante el mes de julio, el MP disminuye concentraciones para todos los meses, sin embargo, en el mes de agosto, particularmente el punto 2 de los Trigales, reporta valores altos, coincidiendo con días de cocción y quema de ladrillos (**Figura 14**)

Figura 13*Curvas de parámetros ambientales, 2019***Nota.** Proyecto Canon 2019-2020**4.1.1.5. Punto de monitoreo 01 (2020): Pillao Matao****Tabla 15***Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 01, mayo-agosto, 2020*

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2020	37.56	1/06/2020	65.15	1/07/2020	61.36	1/08/2020	57.65
2/05/2020	22.54	2/06/2020	61.36	2/07/2020	35.65	2/08/2020	41.36
3/05/2020	39.47	3/06/2020	47.53	3/07/2020	19.79	3/08/2020	35.85
4/05/2020	67.65	4/06/2020	65.29	4/07/2020	17.53	4/08/2020	33.21
5/05/2020	44.47	5/06/2020	50.17	5/07/2020	59.65	5/08/2020	45.33
6/05/2020	50.08	6/06/2020	49.87	6/07/2020	60.29	6/08/2020	49.04
7/05/2020	51.78	7/06/2020	52.36	7/07/2020	60.03	7/08/2020	43.3
8/05/2020	48.35	8/06/2020	63.1	8/07/2020	35.05	8/08/2020	52.21
9/05/2020	63.65	9/06/2020	54.17	9/07/2020	59.44	9/08/2020	57.68
10/05/2020	54.64	10/06/2020	54.89	10/07/2020	53.23	10/08/2020	54.64
11/05/2020	47.71	11/06/2020	59.22	11/07/2020	53.9	11/08/2020	76.41

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
12/05/2020	34.9	12/06/2020	34.03	12/07/2020	31.32	12/08/2020	63.97
13/05/2020	54.46	13/06/2020	40.28	13/07/2020	29.98	13/08/2020	46.36
14/05/2020	47.31	14/06/2020	56.24	14/07/2020	37.11	14/08/2020	47.28
15/05/2020	46.09	15/06/2020	49.38	15/07/2020	36.38	15/08/2020	60.96
16/05/2020	45.5	16/06/2020	50.83	16/07/2020	36.09	16/08/2020	50.65
17/05/2020	57.08	17/06/2020	25.11	17/07/2020	35.23	17/08/2020	51.19
18/05/2020	54.05	18/06/2020	73.14	18/07/2020	48.13	18/08/2020	61.01
19/05/2020	58.77	19/06/2020	58.87	19/07/2020	45.22	19/08/2020	67.01
20/05/2020	43.43	20/06/2020	52.92	20/07/2020	46.09	20/08/2020	53.5
21/05/2020	49.03	21/06/2020	52.16	21/07/2020	39	21/08/2020	56.33
22/05/2020	45.55	22/06/2020	52.23	22/07/2020	24.09	22/08/2020	63.75
23/05/2020	23.56	23/06/2020	53.69	23/07/2020	27.26	23/08/2020	67.88
24/05/2020	47.48	24/06/2020	64.42	24/07/2020	51.12	24/08/2020	71.39
25/05/2020	46.5	25/06/2020	64.04	25/07/2020	37.78	25/08/2020	54.58
26/05/2020	52.07	26/06/2020	65.99	26/07/2020	30.08	26/08/2020	52.03
27/05/2020	60.71	27/06/2020	64.62	27/07/2020	28.58	27/08/2020	53.14
28/05/2020	66.67	28/06/2020	63.06	28/07/2020	55.36	28/08/2020	50.59
29/05/2020	70.97	29/06/2020	68.38	29/07/2020	60.18	29/08/2020	47.96
30/05/2020	64.42	30/06/2020	35.91	30/07/2020	40.59	30/08/2020	50.12
31/05/2020	51.01			31/07/2020	47.22	31/08/2020	66.69
Total	1547.46		1648.40		1302.72		1683.07

Nota. Proyecto Canon 2019-2020

En la Tabla 10 y Tabla 11, se aprecian poca dispersión de material particulado, esto coincide con la época, pues al descender la temperatura y los vientos predominantes entre 0 y 0.1 m/s, contribuye a estos efectos.

4.1.1.6. Punto de monitoreo 02 (2020): Los Trigales

Tabla 16

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 02, mayo-agosto, 2020

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2020	61.36	1/06/2020	52.59	1/07/2020	63.67	1/08/2020	37.34
2/05/2020	87.65	2/06/2020	37.56	2/07/2020	39.41	2/08/2020	26.30
3/05/2020	80.58	3/06/2020	56.46	3/07/2020	17.53	3/08/2020	34.89
4/05/2020	70.12	4/06/2020	60.21	4/07/2020	21.91	4/08/2020	22.96
5/05/2020	46.5	5/06/2020	37.94	5/07/2020	81.87	5/08/2020	51.2
6/05/2020	54.04	6/06/2020	31.21	6/07/2020	86.52	6/08/2020	50.8
7/05/2020	74.71	7/06/2020	27.03	7/07/2020	72.42	7/08/2020	50.09
8/05/2020	59.5	8/06/2020	54.7	8/07/2020	81.47	8/08/2020	49.81
9/05/2020	43.99	9/06/2020	61.68	9/07/2020	75.84	9/08/2020	52.06
10/05/2020	75.96	10/06/2020	40.68	10/07/2020	78.07	10/08/2020	49.66
11/05/2020	61.53	11/06/2020	46.83	11/07/2020	77.97	11/08/2020	49.87
12/05/2020	59.34	12/06/2020	45.97	12/07/2020	76.29	12/08/2020	48.88
13/05/2020	56.56	13/06/2020	47.93	13/07/2020	75.52	13/08/2020	54.7
14/05/2020	44.48	14/06/2020	77.73	14/07/2020	75.21	14/08/2020	48.91
15/05/2020	46.32	15/06/2020	78.05	15/07/2020	72.57	15/08/2020	49.9
16/05/2020	53.5	16/06/2020	86.63	16/07/2020	63.52	16/08/2020	50.66
17/05/2020	59.72	17/06/2020	79.68	17/07/2020	63.11	17/08/2020	49.91
18/05/2020	52.82	18/06/2020	77.65	18/07/2020	64.39	18/08/2020	50.18
19/05/2020	51.46	19/06/2020	81.29	19/07/2020	52.34	19/08/2020	52.88
20/05/2020	32.42	20/06/2020	83.28	20/07/2020	57.08	20/08/2020	50.79
21/05/2020	32.85	21/06/2020	79.56	21/07/2020	54.05	21/08/2020	35.82
22/05/2020	42.64	22/06/2020	79.87	22/07/2020	58.77	22/08/2020	39.32
23/05/2020	46.29	23/06/2020	78.26	23/07/2020	54.37	23/08/2020	52.21
24/05/2020	51	24/06/2020	73.21	24/07/2020	52.49	24/08/2020	57.68
25/05/2020	38.43	25/06/2020	79.62	25/07/2020	46.25	25/08/2020	54.64
26/05/2020	39.97	26/06/2020	74.86	26/07/2020	49.81	26/08/2020	76.41
27/05/2020	46.44	27/06/2020	77.6	27/07/2020	52.78	27/08/2020	63.97
28/05/2020	38.84	28/06/2020	78.96	28/07/2020	53.5	28/08/2020	46.36
29/05/2020	24.02	29/06/2020	74.29	29/07/2020	51.48	29/08/2020	47.28
30/05/2020	26.02	30/06/2020	79.79	30/07/2020	54.95	30/08/2020	60.96
31/05/2020	51.37			31/07/2020	50.98	31/08/2020	42.58
Total	1610.43		1941.12		1876.15		1509.00

Nota. Proyecto Canon 2019-2020

4.1.1.7. Punto de monitoreo 03 (2020): Sucso Aucaylle

Tabla 17

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 03, mayo-agosto, 2020

Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2020	93.91	1/06/2020	72.10	1/07/2020	29.53	1/08/2020	27.30
2/05/2020	70.12	2/06/2020	53.60	2/07/2020	46.36	2/08/2020	25.77
3/05/2020	57.53	3/06/2020	17.53	3/07/2020	60.27	3/08/2020	19.52
4/05/2020	80.12	4/06/2020	26.30	4/07/2020	57.57	4/08/2020	15.71
5/05/2020	50.85	5/06/2020	20.48	5/07/2020	74.98	5/08/2020	50.1
6/05/2020	61.01	6/06/2020	19.01	6/07/2020	59.58	6/08/2020	62.68
7/05/2020	67.01	7/06/2020	35.33	7/07/2020	53.27	7/08/2020	35.53
8/05/2020	54.07	8/06/2020	45.03	8/07/2020	38.55	8/08/2020	51.66
9/05/2020	66.8	9/06/2020	51.14	9/07/2020	60.3	9/08/2020	47.23
10/05/2020	71.41	10/06/2020	51.07	10/07/2020	66.39	10/08/2020	42.11
11/05/2020	71.2	11/06/2020	52.04	11/07/2020	72.89	11/08/2020	51.83
12/05/2020	67.77	12/06/2020	51.54	12/07/2020	67.62	12/08/2020	30.58
13/05/2020	71.4	13/06/2020	55.36	13/07/2020	67.99	13/08/2020	44.19
14/05/2020	61.63	14/06/2020	48.52	14/07/2020	71.55	14/08/2020	48.11
15/05/2020	49.67	15/06/2020	53.55	15/07/2020	56.07	15/08/2020	46.87
16/05/2020	52.38	16/06/2020	57.02	16/07/2020	57.91	16/08/2020	40.87
17/05/2020	46.81	17/06/2020	47.54	17/07/2020	61.63	17/08/2020	53.33
18/05/2020	73.12	18/06/2020	39.88	18/07/2020	63.99	18/08/2020	53.51
19/05/2020	65.81	19/06/2020	37.16	19/07/2020	60.88	19/08/2020	51.59
20/05/2020	68.56	20/06/2020	42.31	20/07/2020	55.5	20/08/2020	48.45
21/05/2020	71.2	21/06/2020	23.83	21/07/2020	59.44	21/08/2020	59.68
22/05/2020	42.12	22/06/2020	14.56	22/07/2020	57.47	22/08/2020	63.12
23/05/2020	17.21	23/06/2020	40.59	23/07/2020	61.6	23/08/2020	61.92
24/05/2020	46.25	24/06/2020	21.91	24/07/2020	54.65	24/08/2020	29.7
25/05/2020	64.32	25/06/2020	16.02	25/07/2020	59	25/08/2020	49.5
26/05/2020	54.06	26/06/2020	11.41	26/07/2020	53.45	26/08/2020	39.84
27/05/2020	58.09	27/06/2020	20.77	27/07/2020	50.02	27/08/2020	40.01
28/05/2020	56.41	28/06/2020	43.83	28/07/2020	25.78	28/08/2020	53.16
29/05/2020	27.5	29/06/2020	66.13	29/07/2020	48.63	29/08/2020	62.36
30/05/2020	17.8	30/06/2020	64.24	30/07/2020	43.81	30/08/2020	48.29
31/05/2020	20.98			31/07/2020	34.19	31/08/2020	43.87
Total	1777.12		1199.79		1730.87		1398.40

Nota. Proyecto Canon 2019-2020

Para el último mes de monitoreo, la presencia de vientos fuertes, contribuyen en la disipación del MP en las fuentes de áreas (**Figura 15**)

4.1.1.8. Punto de monitoreo 04 (2020): Urb. Constructores - San Jerónimo

Tabla 18

Material particulado PM_{2.5} (µg/m³) de área 04, mayo-agosto, 2020

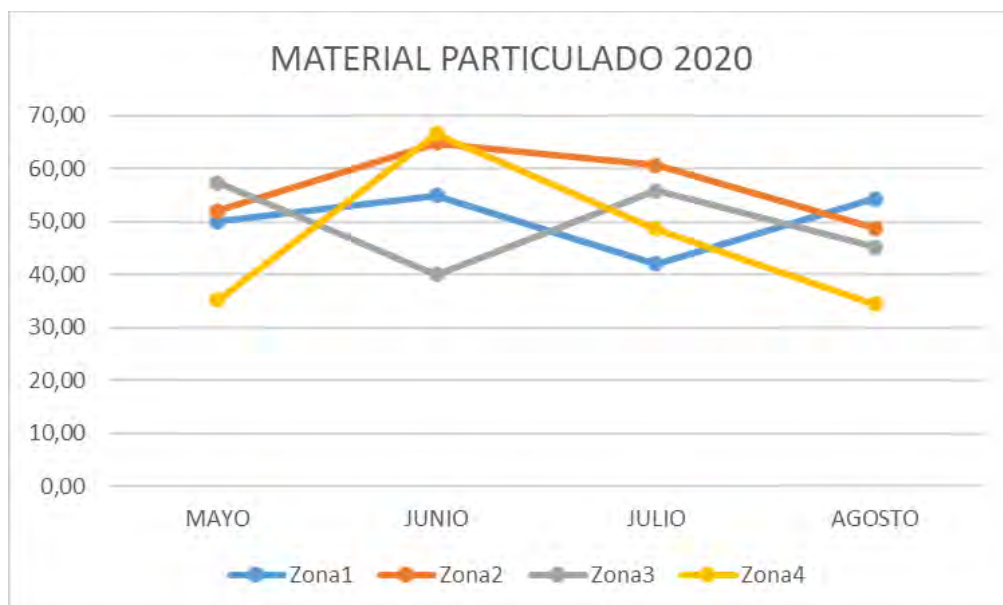
Mayo	PM _{2.5}	Junio	PM _{2.5}	Julio	PM _{2.5}	Agosto	PM _{2.5}
1/05/2020	57.82	1/06/2020	27.13	1/07/2020	13.66	1/08/2020	16.75
2/05/2020	34.72	2/06/2020	29.18	2/07/2020	19.05	2/08/2020	25.29
3/05/2020	30.96	3/06/2020	21.01	3/07/2020	24.58	3/08/2020	21.22
4/05/2020	36.62	4/06/2020	18.12	4/07/2020	19.29	4/08/2020	22.19
5/05/2020	22.53	5/06/2020	26.99	5/07/2020	98.56	5/08/2020	5.35
6/05/2020	53.82	6/06/2020	31.46	6/07/2020	93.75	6/08/2020	4.58
7/05/2020	34.36	7/06/2020	30.85	7/07/2020	86.82	7/08/2020	6.36
8/05/2020	34.83	8/06/2020	28.87	8/07/2020	73.08	8/08/2020	6.08
9/05/2020	51.44	9/06/2020	31.24	9/07/2020	64.54	9/08/2020	4.16
10/05/2020	42.83	10/06/2020	27.61	10/07/2020	56.49	10/08/2020	5.98
11/05/2020	46.86	11/06/2020	30.63	11/07/2020	78.14	11/08/2020	5.87
12/05/2020	44.28	12/06/2020	31.12	12/07/2020	78.06	12/08/2020	1.28
13/05/2020	39.53	13/06/2020	37.05	13/07/2020	70.35	13/08/2020	3.27
14/05/2020	37.28	14/06/2020	38.31	14/07/2020	64.22	14/08/2020	3.25
15/05/2020	35.94	15/06/2020	35.78	15/07/2020	51.01	15/08/2020	3.59
16/05/2020	39.14	16/06/2020	35.63	16/07/2020	46.52	16/08/2020	2.43
17/05/2020	35.03	17/06/2020	49.54	17/07/2020	46.68	17/08/2020	2.52
18/05/2020	34.76	18/06/2020	72.4	18/07/2020	52.6	18/08/2020	46.84
19/05/2020	34	19/06/2020	84.46	19/07/2020	53.62	19/08/2020	78.22
20/05/2020	31.84	20/06/2020	90.87	20/07/2020	53.52	20/08/2020	81.93
21/05/2020	27.05	21/06/2020	78.15	21/07/2020	49.09	21/08/2020	72.4
22/05/2020	6.81	22/06/2020	109.04	22/07/2020	61.89	22/08/2020	72.51
23/05/2020	0.22	23/06/2020	114.8	23/07/2020	60.81	23/08/2020	87.48
24/05/2020	4.79	24/06/2020	110.75	24/07/2020	54.13	24/08/2020	77.86
25/05/2020	44.1	25/06/2020	102.58	25/07/2020	45.97	25/08/2020	73
26/05/2020	77.5	26/06/2020	124.19	26/07/2020	46.53	26/08/2020	64.51
27/05/2020	41.95	27/06/2020	136.93	27/07/2020	37.03	27/08/2020	62.57
28/05/2020	23.4	28/06/2020	132.19	28/07/2020	0.09	28/08/2020	51.91
29/05/2020	28.74	29/06/2020	169.68	29/07/2020	3.08	29/08/2020	51.5
30/05/2020	28.23	30/06/2020	139.48	30/07/2020	1.8	30/08/2020	48.26
31/05/2020	28.76			31/07/2020	1.4	31/08/2020	56.37
Total	1090.14		1996.04		1506.36		1065.53

Nota. Proyecto Canon 2019-2020

en este punto con características de emisiones atmosféricas, producto de las actividades vinculadas a la pequeña y mediana industria, además del parque automotor, se presenta el MP PM_{2.5}, observándose en los años 2019-2020 concentraciones de PM_{2.5}. mínimas de 1.4 µg/m³ a máximas 169.68 µg/m³.

Figura 14

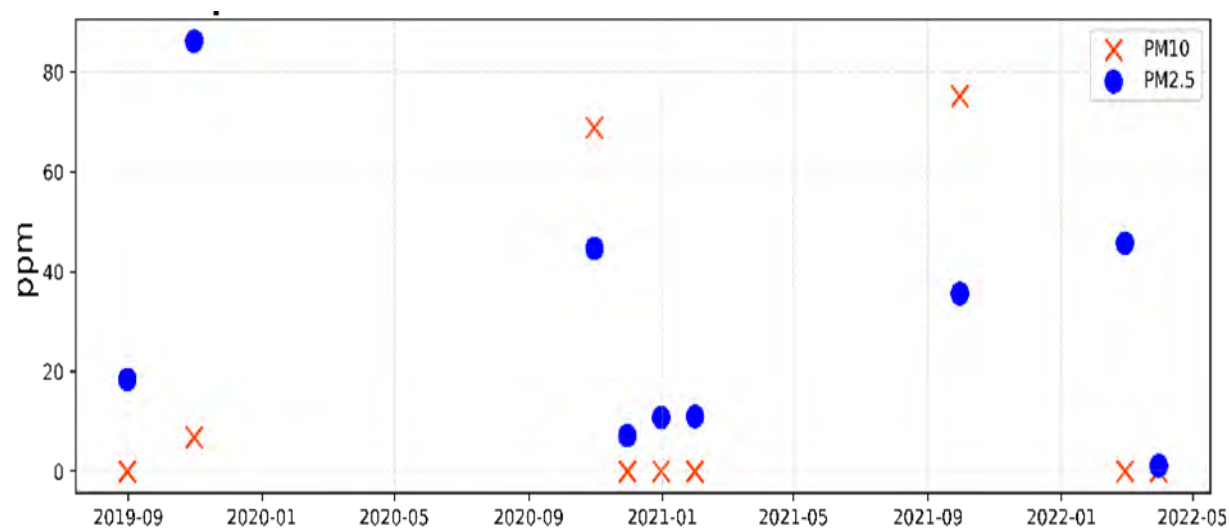
Curvas de parámetros ambientales, 2020



Nota: Proyecto Canon 2019-2020

Figura 15

Comportamiento mensual del PM10 y PM2.5



Nota. Proyecto Canon 2019-2020

4.1.2 Procesamiento meteorológico

Se procesaron los registros meteorológicos de velocidad y dirección del viento para las estaciones de Wánchaq y San Jerónimo. Los datos se encontraron en un formato muy variado de registro horario. Se recomienda estandarizar un solo formato de fecha y hora de las estaciones.

Tabla 19

Estandarización de estaciones meteorológicas

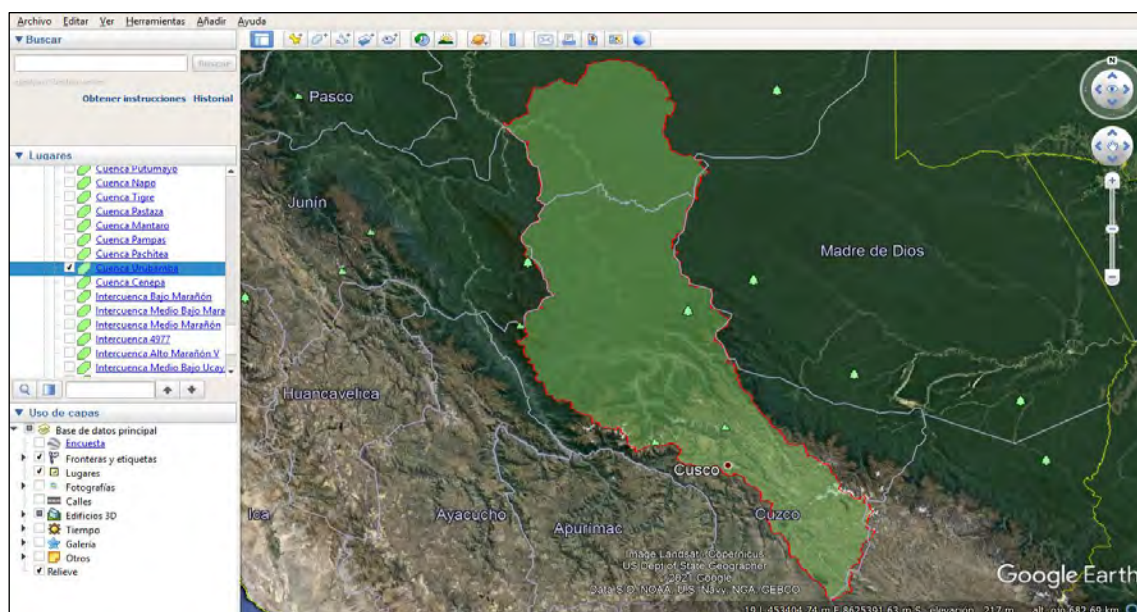
Sistemas	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 1984	Longitud Oeste	73° 45′	70° 48′
		Latitud Sur	10° 10′	14° 37′
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 1984	Metros Este	636 197	955 020
		Metros Norte	8 376 945	875 300
Altitud	Vertical nivel medio del mar	180 msnm	180 msnm Atalaya	6384 msnm Nevado Ausangate

Nota. CICC GA 2022.

Figura 16

Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas



Figura 17*Cuenca del río Vilcanota - Urubamba*

4.1.3 Velocidad del viento

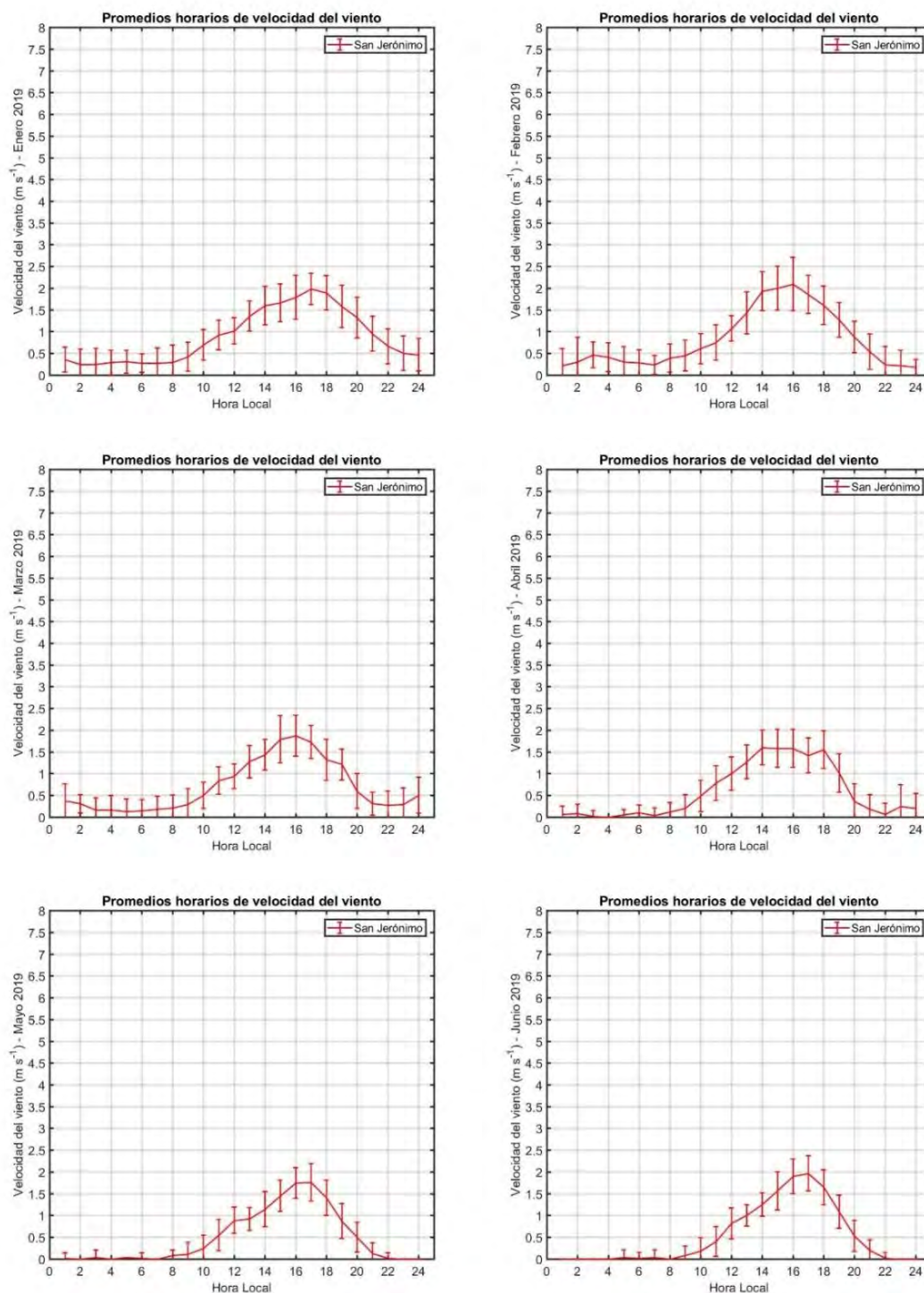
Velocidad del viento: En la presente investigación sólo se exponen los promedios horarios del ciclo diurno de la intensidad y dirección del viento de las estaciones de San Jerónimo y Wánchaq para el año 2019. La demás información estará disponible en una carpeta Drive con los scripts de procesamiento de datos y generación de estos gráficos.

Para analizar el comportamiento de la intensidad del viento durante el período de estudio, se obtuvieron los valores promedio de cada hora (00 - 23 HL) y la desviación estándar como se muestra en las figuras (barras rojas)

Se puede observar que en la estación de San Jerónimo es común reportar los mayores valores de promedio horario de velocidad del viento entre las 16 y 17 HL a excepción de los meses de agosto (18 HL), octubre (15 HL) y diciembre (18 HL) y los promedios horarios durante la noche son iguales a cero entre los meses de abril-agosto (**Figura 19**).

Figura 18

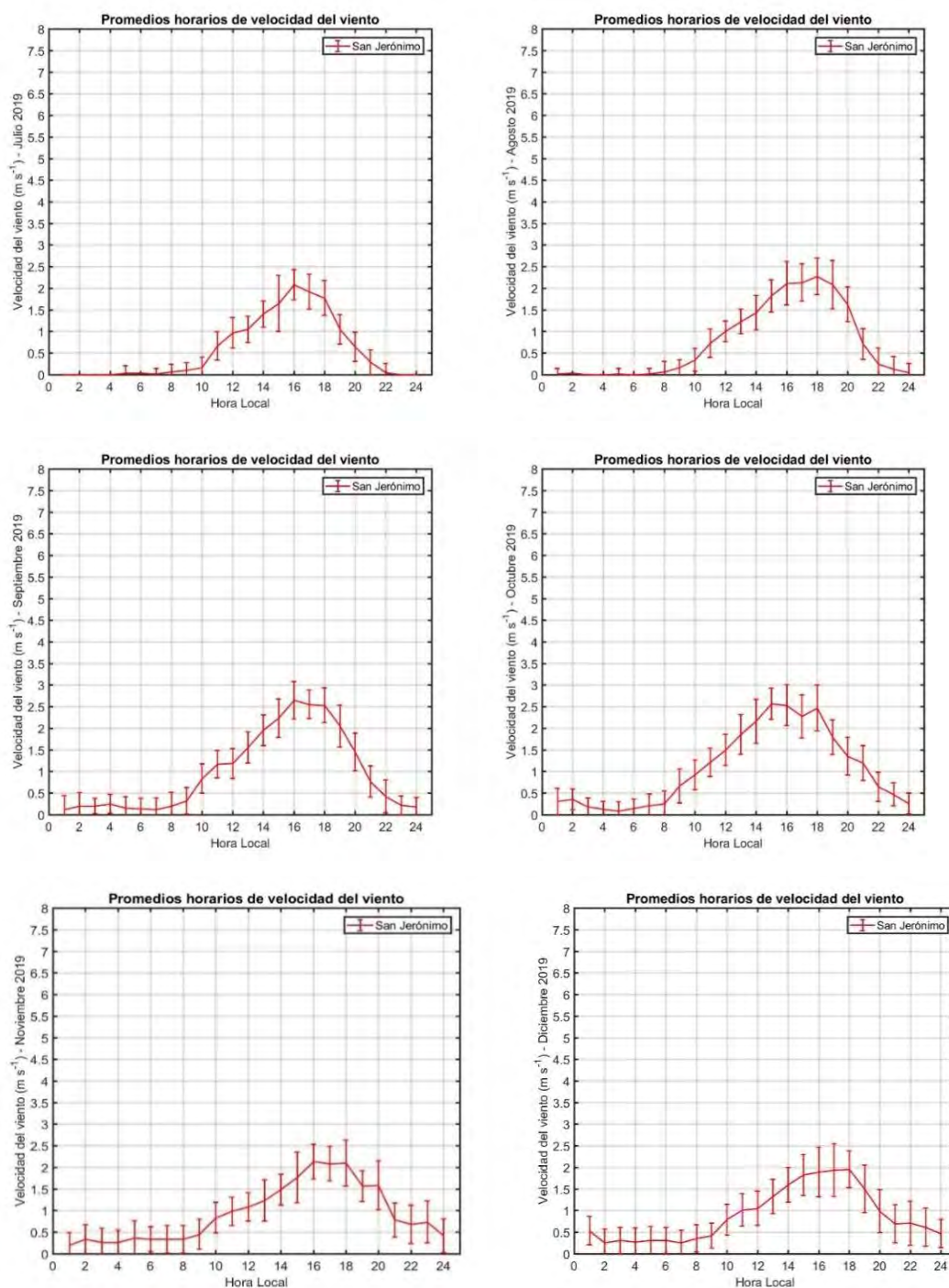
Velocidad del viento (enero-junio, 2019), estación San Jerónimo



Para analizar el comportamiento de la intensidad del viento durante el período de estudio, se obtuvieron los valores promedio de cada hora (00 – 23 HL) y la desviación estándar como se muestra en las figuras (barras rojas).

Figura 19

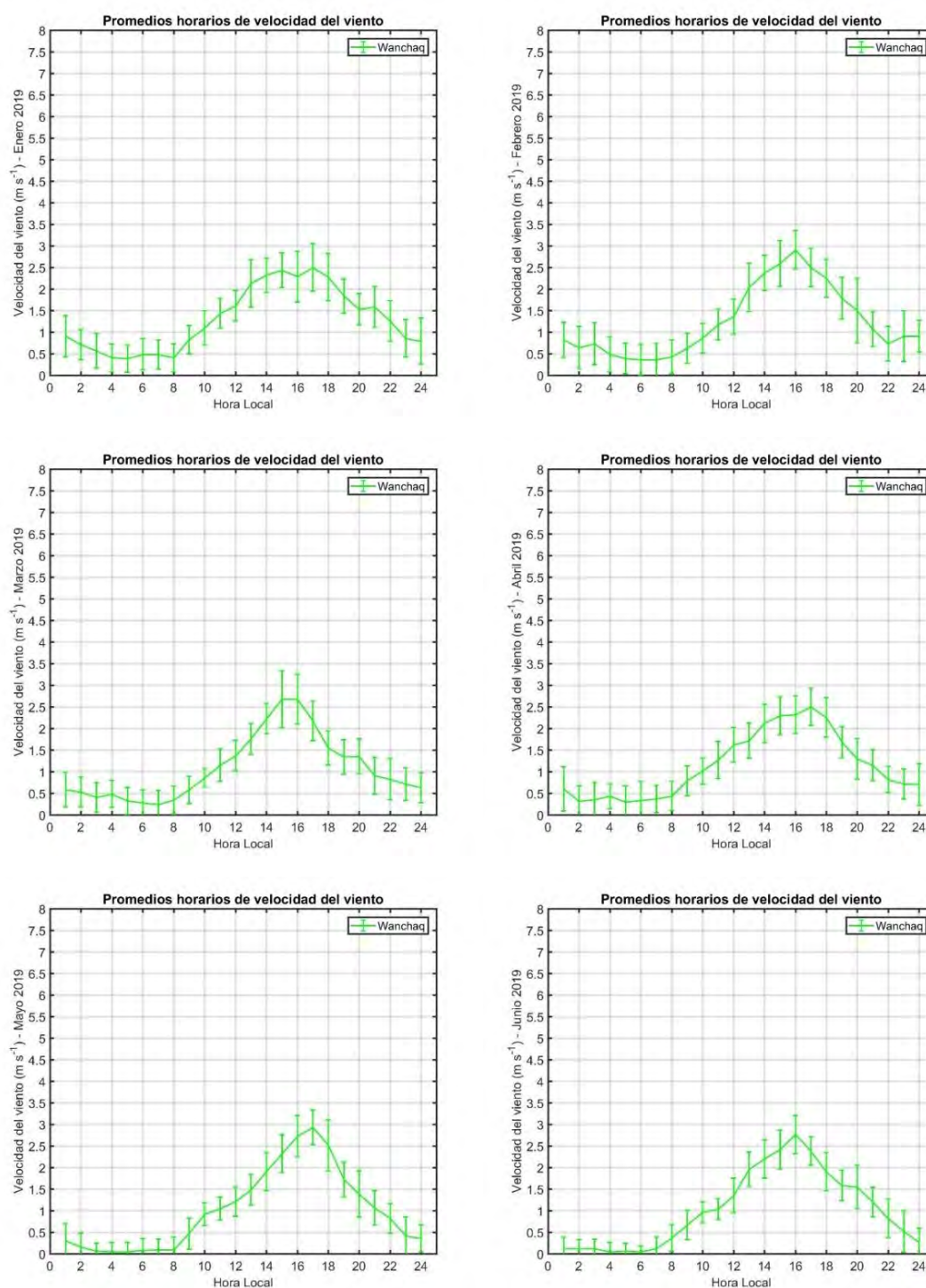
Velocidad del viento (julio-diciembre, 2019), estación San Jerónimo



Se puede observar que en la estación de San Jerónimo es común reportar los mayores valores de promedio horario de velocidad del viento entre las 16 y 17 HL a excepción de los meses de agosto (18 HL), octubre (15 HL) y diciembre (18 HL) y los promedios horarios durante la noche son iguales a cero entre los meses de abril y agosto.

Figura 20

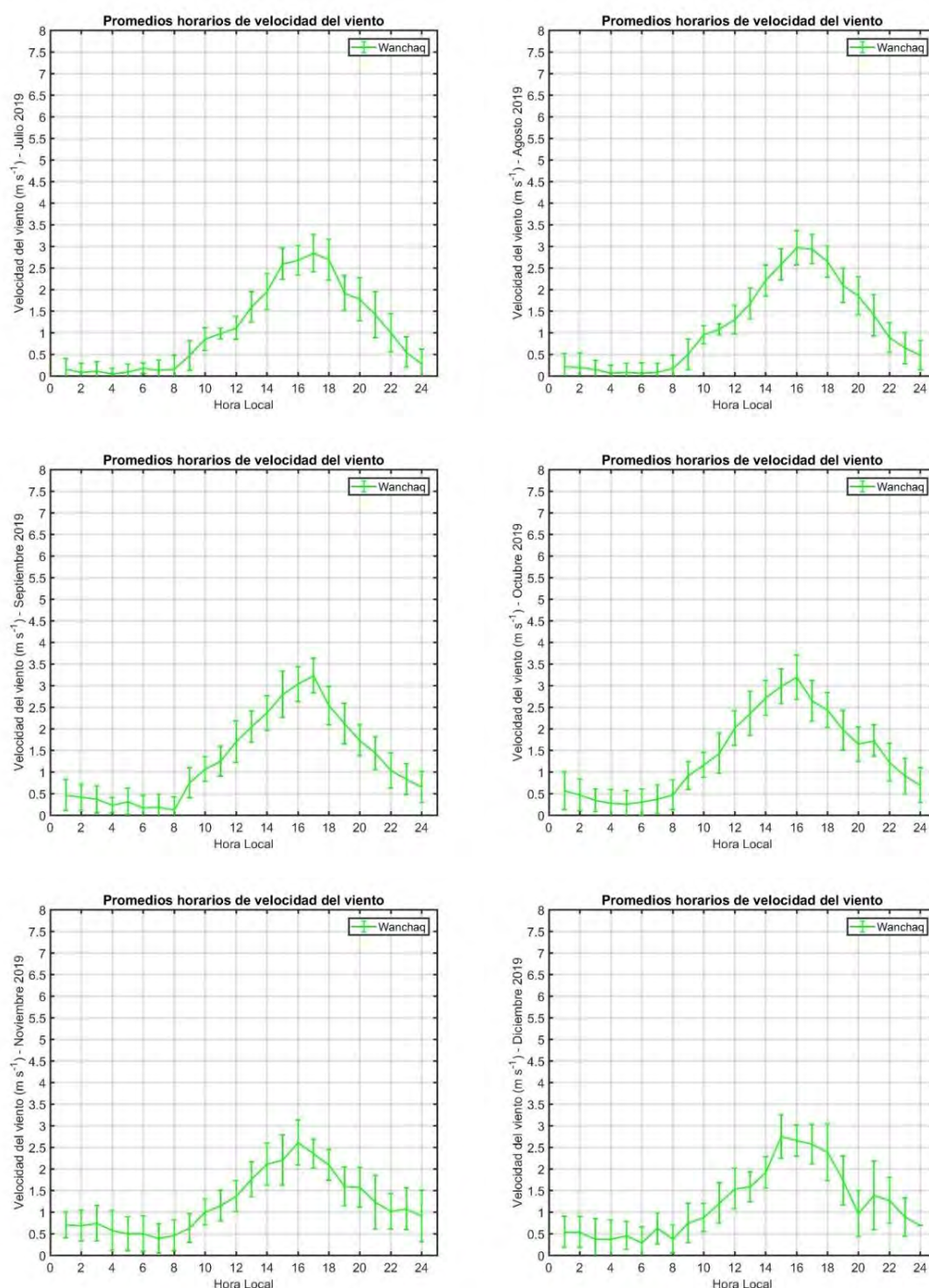
Velocidad del viento (enero-junio, 2019), estación Wánchaq



Los promedios horarios de la velocidad del viento entre las 02 y 07 HL son muy cercanos a cero entre los meses de mayo y agosto (Figura 20 y 21).

Figura 21

Velocidad del viento (julio- diciembre, 2019), estación Wánchaq



Promedios horarios de velocidad del viento para la estación de Wánchaq reportan los máximos valores entre las 16 y 17 HL, siendo cercanos a 3 m/s y los mínimos cercanos a cero entre los meses de mayo y agosto del 2019.

4.1.4 Dirección del viento

Los valores de dirección del viento no pueden ser analizados con técnicas comunes de estadística debido a su naturaleza circular. Por ejemplo, el promedio normal de una muestra de datos cercanos a 0° y 360° (norte) sería un valor cercano a 180° (sur), lo cual no tiene sentido ya que el valor promedio de la dirección del viento durante esos momentos debería estar cerca de 0° y 360° (norte). Por tanto, para calcular la media y la desviación estándar utilizamos estadísticas circulares, que nos sirven para el uso de datos a escala angular. (Jammalamadaka y Sengupta, 2001)

Las direcciones deben transformarse en vectores unitarios en el plano bidimensional por:

Las direcciones deben transformarse en vectores unitarios en el plano bidimensional por:

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde $\mathbf{r}$ es el vector unitario y α es el ángulo del vector. Esta transformación se realiza utilizando la identidad de Euler:

$$e^{i\alpha} = \cos\alpha + i \sin\alpha \quad (2)$$

Donde i es la unidad imaginaria. Después de esta transformación, los vectores r son promediados por la siguiente ecuación:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_i r \quad (3)$$

Donde $\bar{r}$ es el vector resultante, que se transforma utilizando la función de tangente inversa de cuatro cuadrantes para obtener la dirección angular media α , para el presente trabajo se utilizó algoritmos desarrollados en dos contribuciones recientes (Yin y Porporato, 2017) y (Berens, 2009), y como resultado se generaron las planillas de las siguientes figuras que describen el comportamiento del ciclo diurno de los promedios horarios mensuales de los valores de dirección del viento en las estaciones de San Jerónimo y Wánchaq.

Se analizaron los promedios horarios transformados y se graficaron entre (**Figura 23** y **Figura 24**) de los cuales se puede concluir que la predominancia de la dirección del viento es de norte a sur y la intensidad entre 0.5 y 3.2 para todos los casos.

Figura 22

Dirección del viento (enero-junio, 2019), estación San Jerónimo

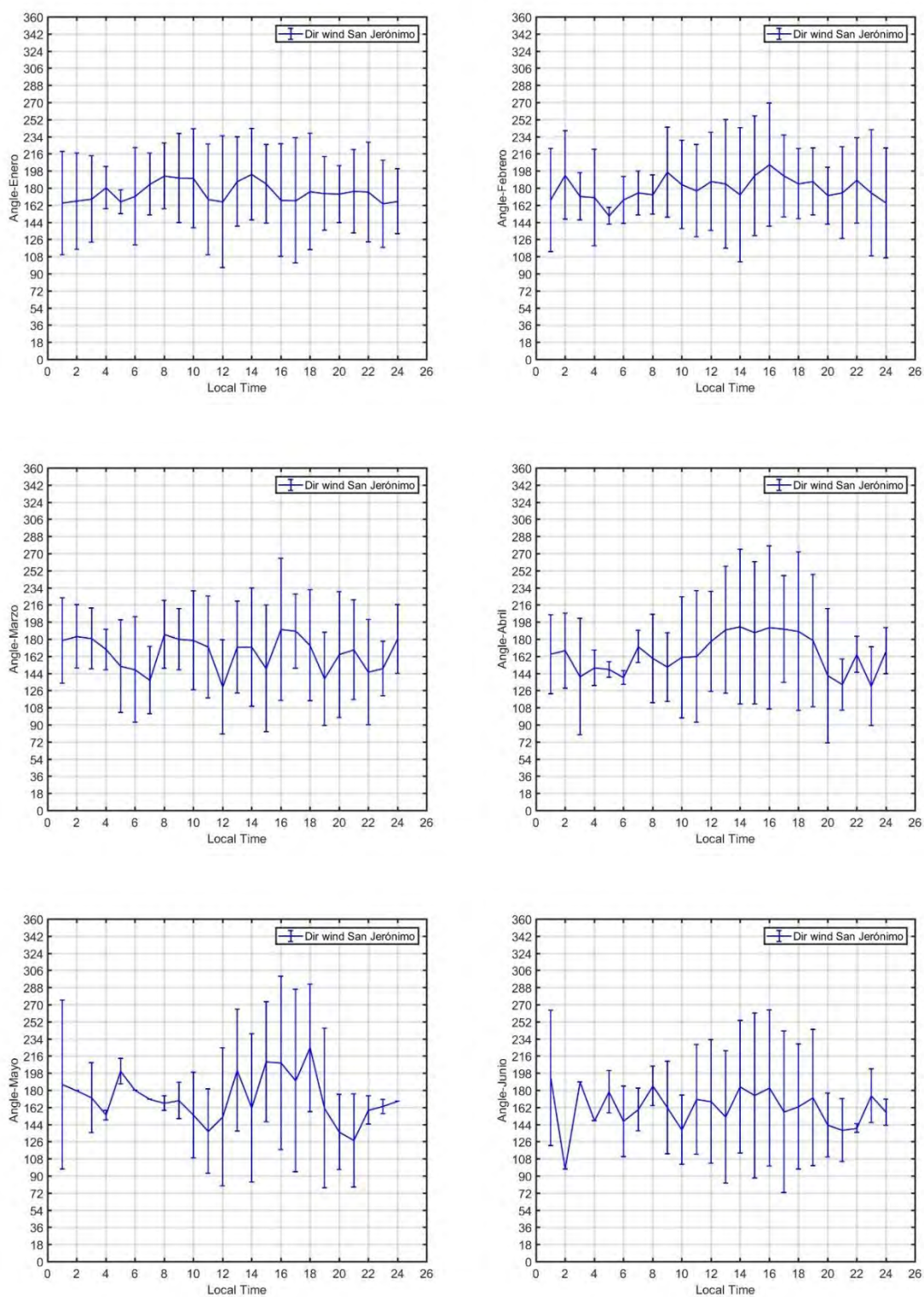


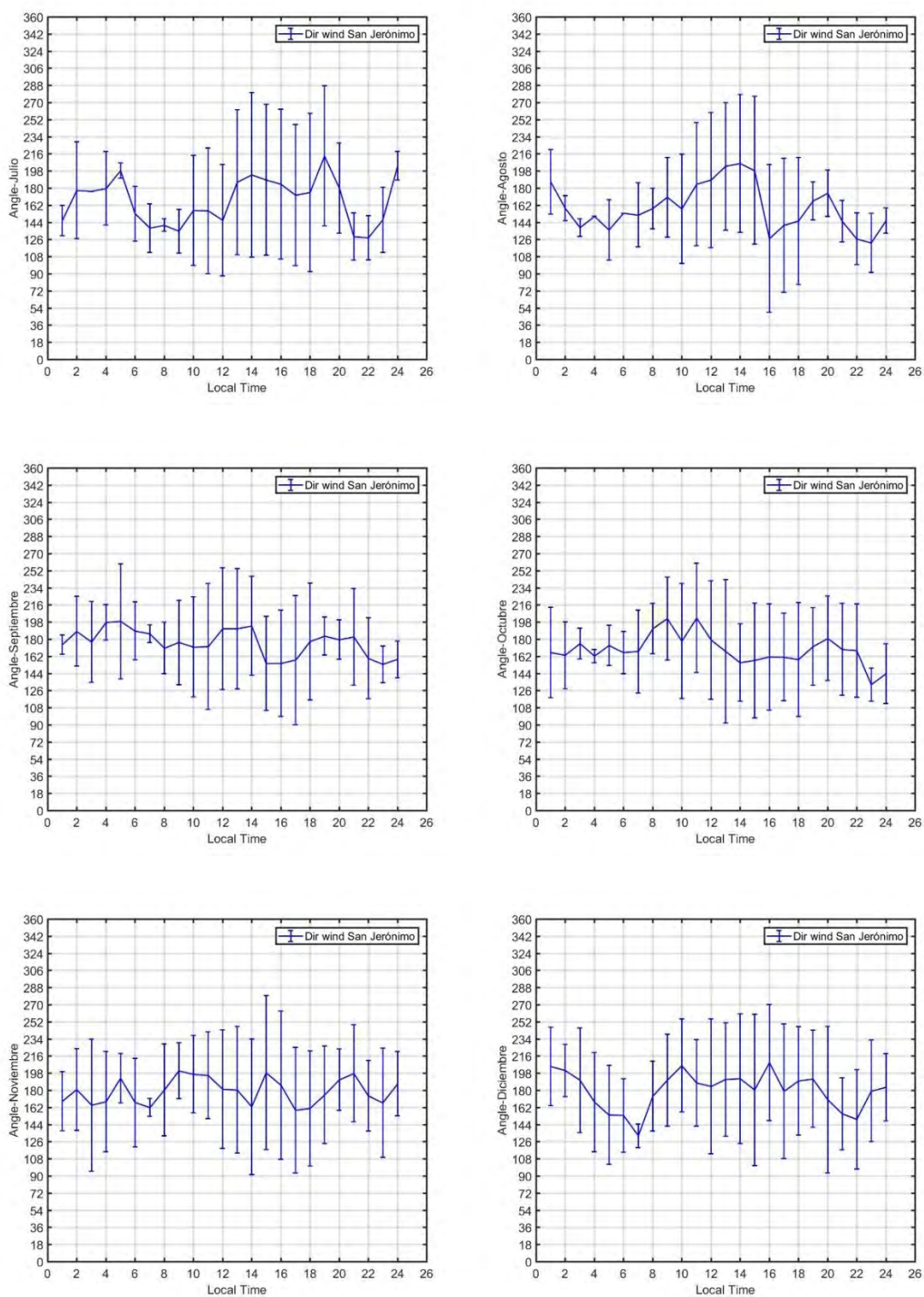
Figura 23*Dirección del viento (julio-diciembre, 2019) estación San Jerónimo*

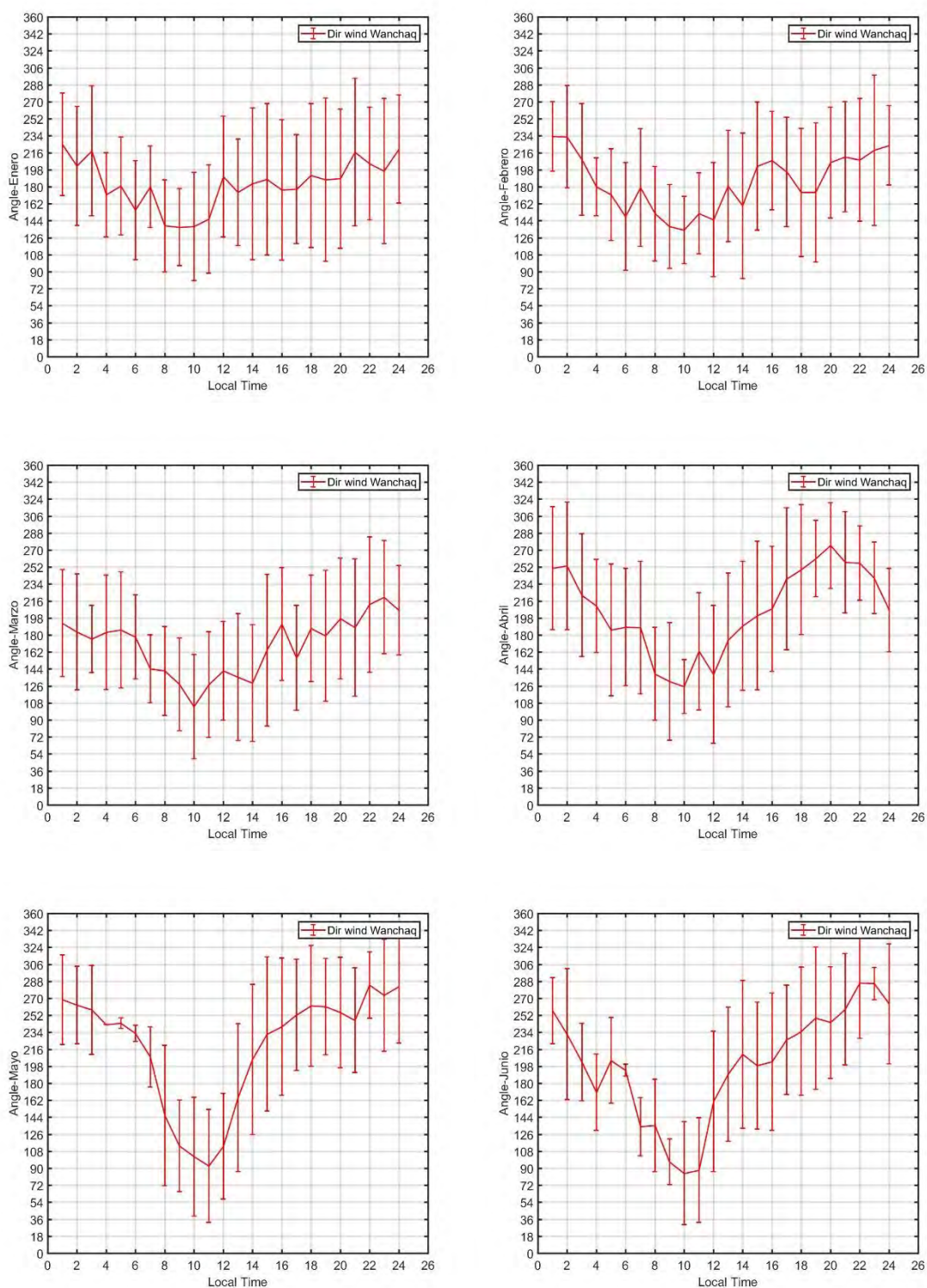
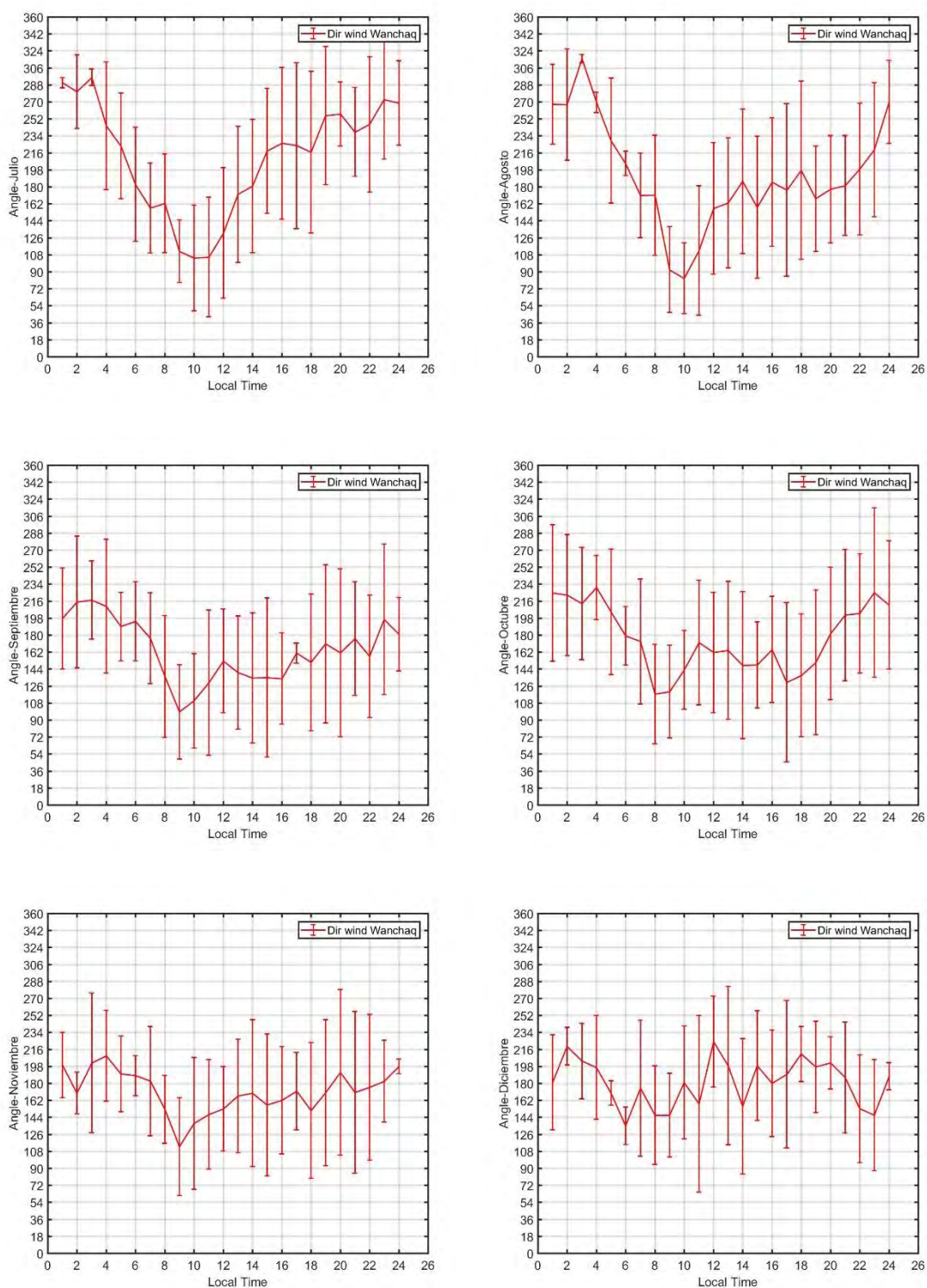
Figura 24*Dirección del viento (enero-junio, 2019), estación Wánchaq*

Figura 25*Dirección del viento (julio-diciembre, 2019), estación San Jerónimo*

4.1.5 Generación de mapas de viento

Se generaron mapas de viento de promedios horarios para cada mes, desde enero de 2019 hasta febrero de 2021.

Se utilizó los productos de componentes U y V del viento a 10 del sistema ERA5 disponible en la siguiente página web:

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=form>

Se utilizaron los registros de Reanálisis de media mensual desde enero del 2019 a febrero del 2021, siendo un total de 26 meses de análisis.

A continuación, se muestran algunos mapas de viento generados para cada hora de cada mes durante el período de estudio.

Figura 26

Mapa de viento del centro de la ciudad de Cusco (01:00 HL, enero, 2019)

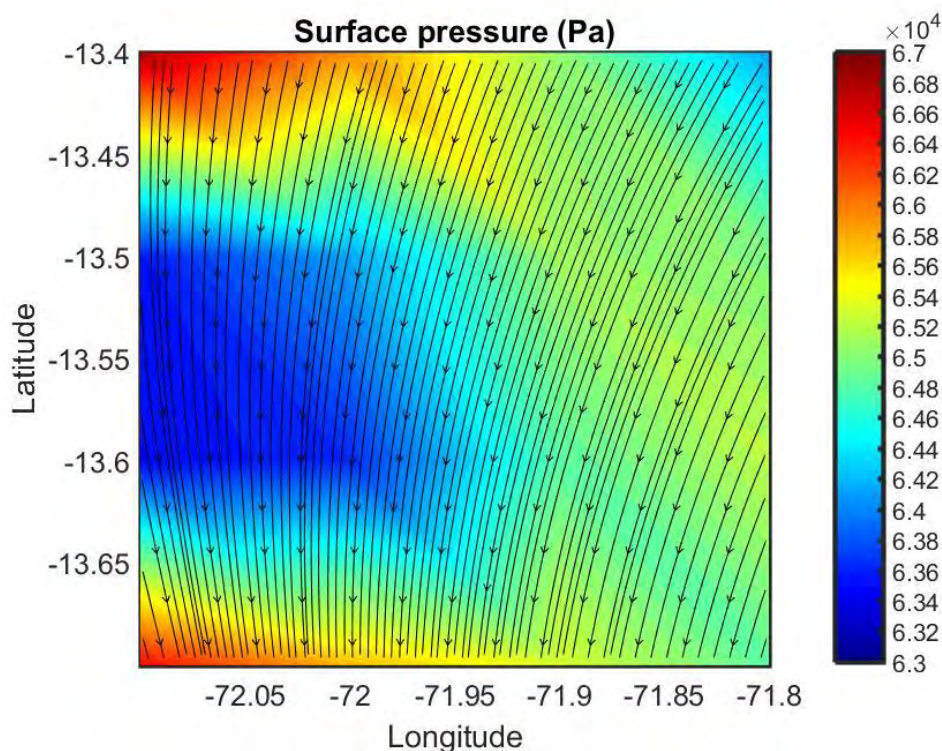
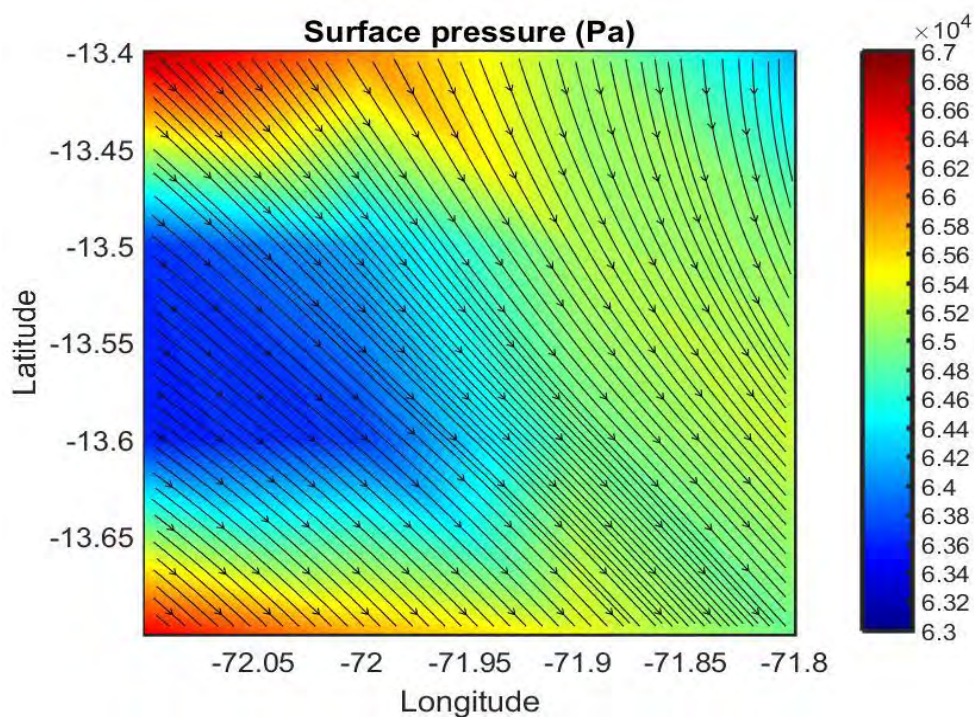
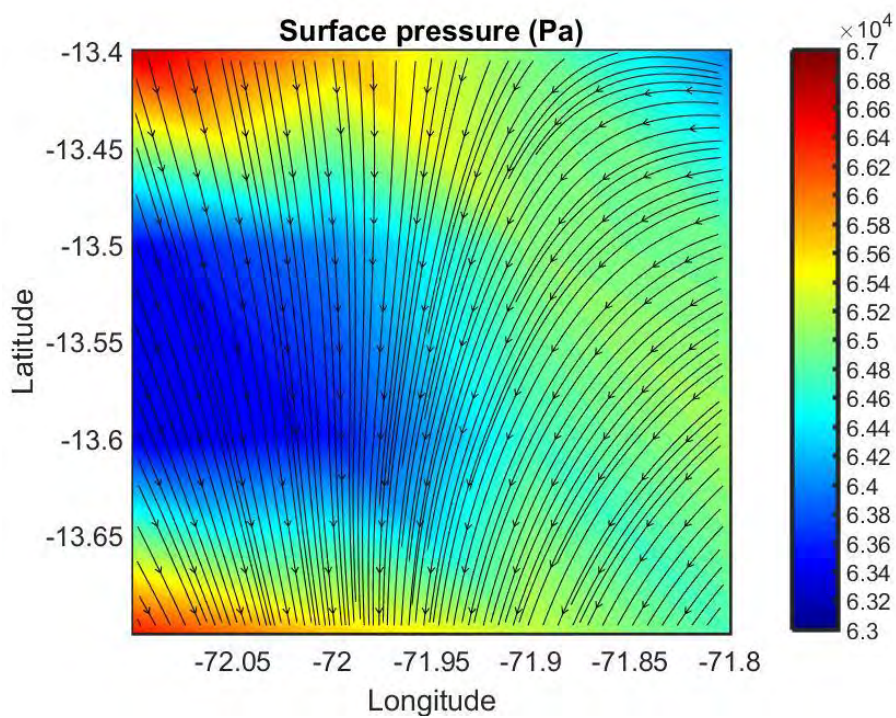


Figura 28

Mapa de viento del centro de la ciudad de Cusco (17:00 HL, mayo de 2019)

**Figura 27**

Mapa de viento del centro la ciudad de Cusco (08:00 HL, agosto, 2019)

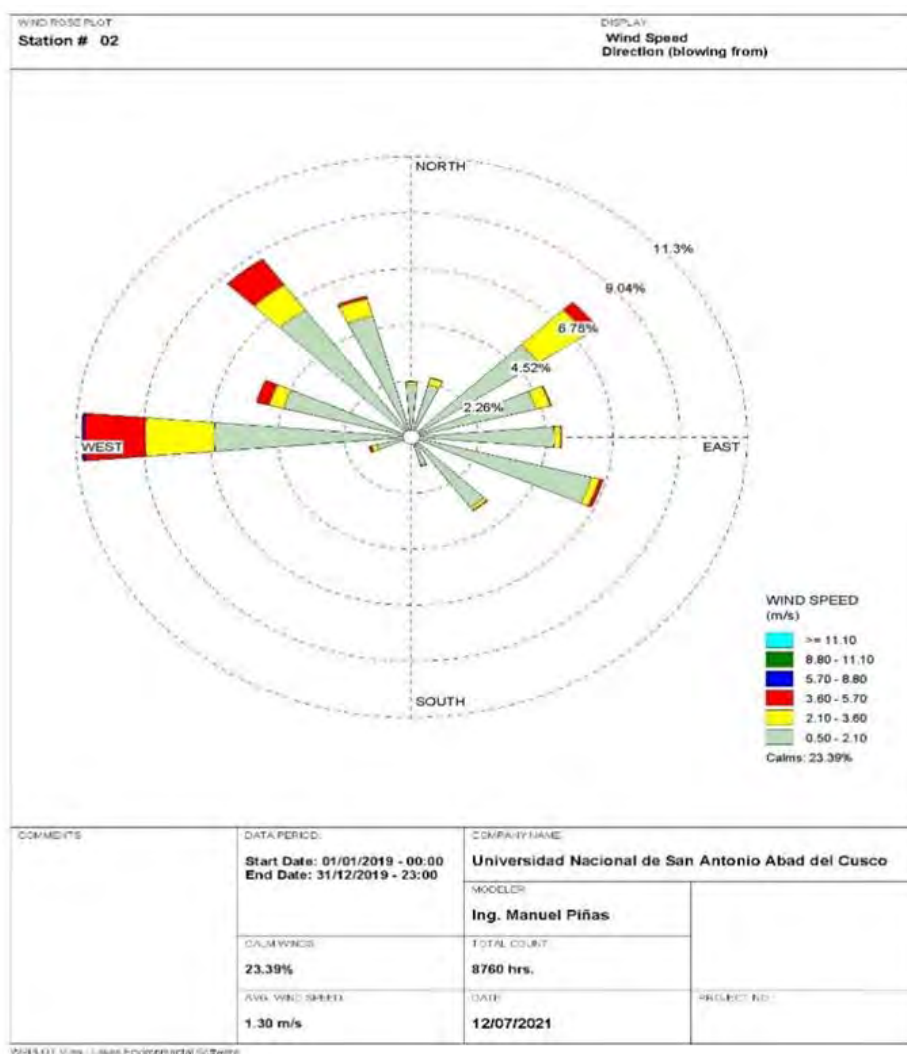


4.1.6 Generación de rosas de viento

Se elaboraron rosas de viento durante el período anual para cada una de las estaciones, con el *software* WRPLOT. El análisis de estos mapas de viento muestra la predominancia de intensidad del viento hasta la dirección sureste en la estación San Jerónimo (**Figura 30**) durante todo el año 2019 y predominancia de intensidad de viento hacia el oeste en la estación Wánchaq (**Figura 31**) durante el mismo período de estudio.

Figura 28

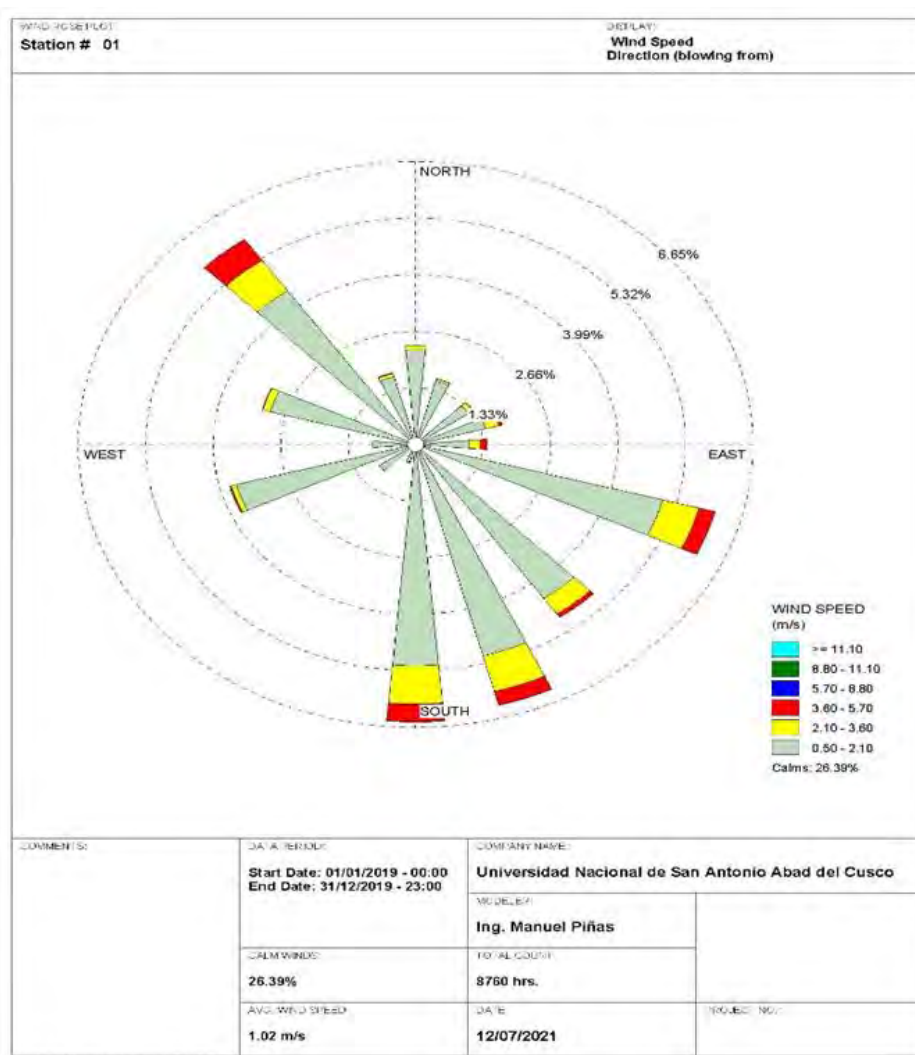
Rosa de viento, estación Wanchaq



En la estación de Wánchaq resalta el mes de mayo, cuando la cantidad de registros de velocidad del viento entre 3.6 y 5.7 m/s es mayor que en la estación 01.

Figura 29

Rosa de vientos, estación San Jerónimo



4.1.7 *Análisis del carbono negro, San Jerónimo*

Se realizó el análisis del BC en las zonas de muestreo del distrito San Jerónimo, 2019-2020.

La presencia del material particulado $PM_{2.5}$, así como del BC son producto de las emisiones de carácter fijo y móvil y en gran medida, del parque automotor además de las actividades comerciales y domésticas con el uso de combustibles a carácter fósil, y que se generan en esta zona urbana cercana además a las fábricas de tejas y ladrillos del distrito, en los meses de febrero a noviembre valores elevados del PM_{10} en el año 2019 una concentración máxima de $177,94 \mu g/m^3$, considerando la humedad relativa muy baja que permite la permanencia del $PM_{2.5}$ con mayor incidencia, así como valores altos de BC en el mes de diciembre con $0,26 \mu g/m^3$, asumiendo las condiciones de emisiones muy elevadas.

Figura 30

Equipo Purple Air

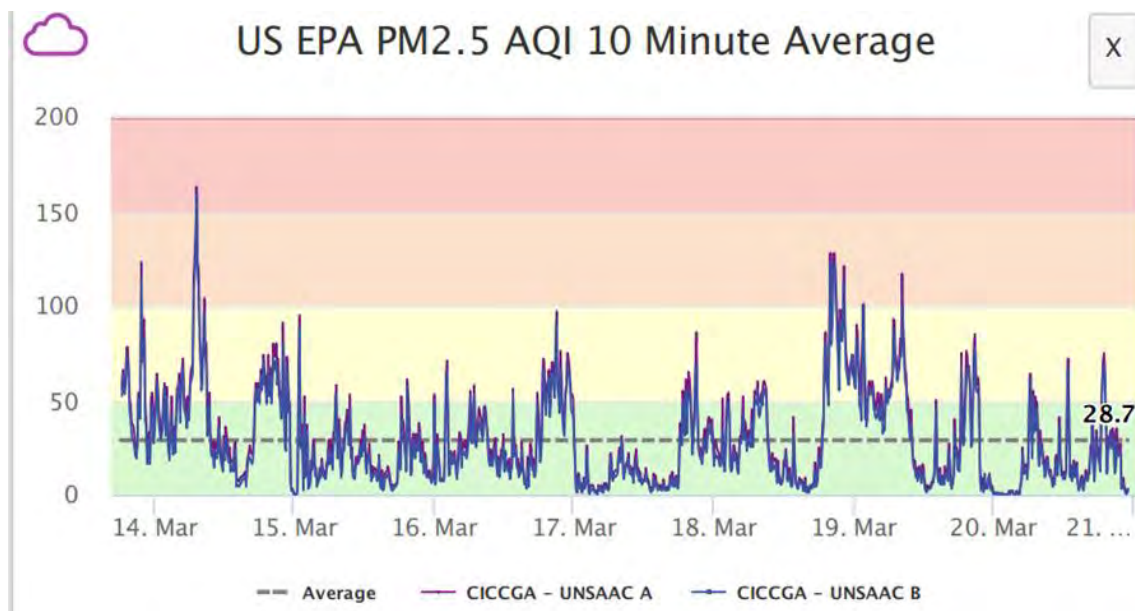


En el año 2019, se observa un valor alto de $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mes de agosto, superando los ECA de $\text{PM}_{2.5}$ de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas de monitoreo y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio anual y BC con el valor máximo en el mes de junio con $0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ existiendo una relación directa del incremento de los valores de MP y del BC.

En el año 2020 se observan valores que superan al ECA de $\text{PM}_{2.5}$ para promedio anual que van desde $73,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor mínimo (mes mayo, **Figura 32**), y como valor máximo de $121,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} estos superando al ECA vigente en nuestro país de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para promedio anual y con valores de BC con $0,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual ratifica las grandes emisiones del parque automotor y actividad doméstica de la zona evaluada.

Figura 31

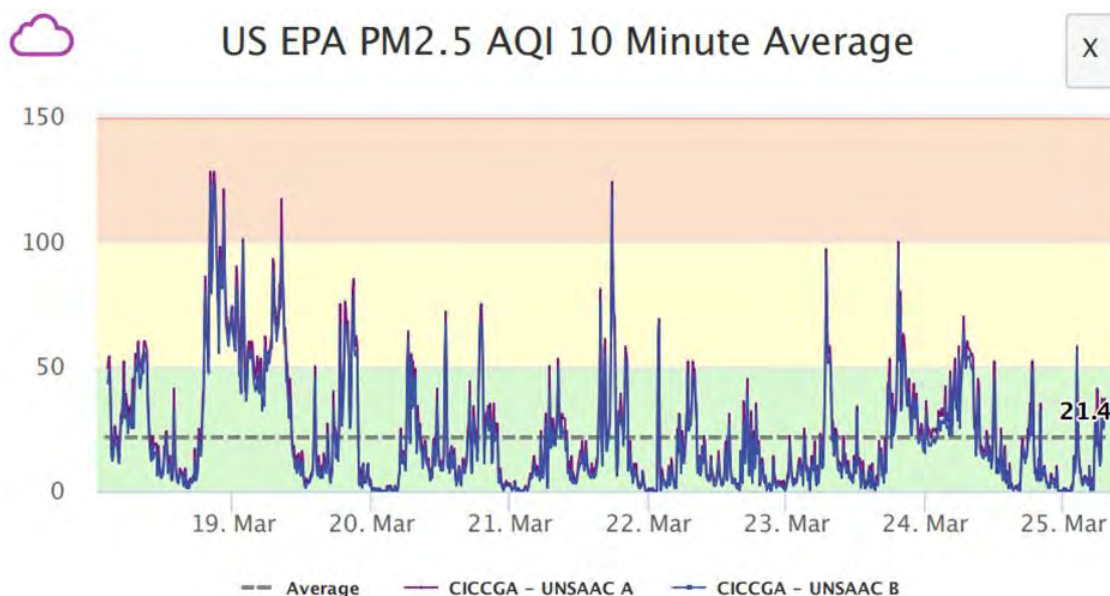
Concentraciones promedio de $\text{PM}_{2.5}$ (14-21, marzo, 2019), San Jerónimo



Nota. $\text{PM}_{2.5}$ Estación Purple Air, CICCGA - UNSAAC

Figura 32

Concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ (19-25, marzo, 2019), San Jerónimo



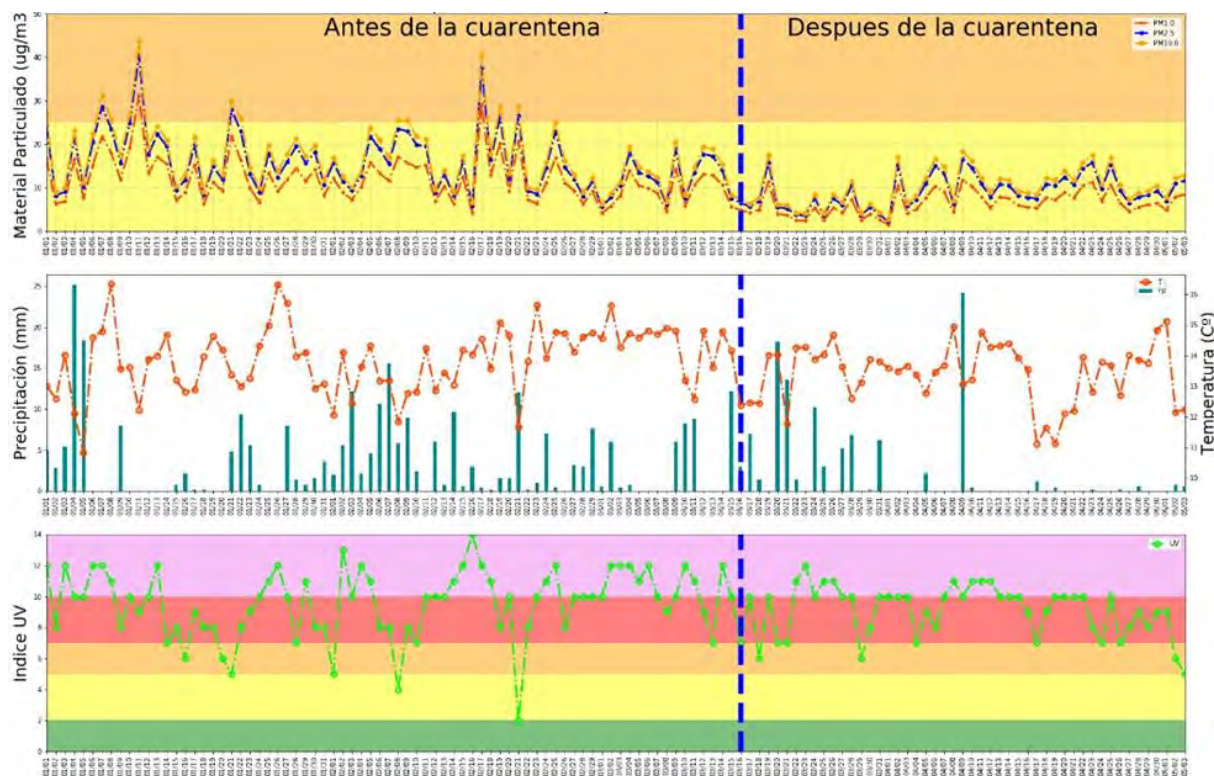
Nota. $PM_{2.5}$ Estación Purple Air, CICCGA - UNSAAC

4.1.8 Análisis de resultados Purple Air, San Jerónimo

En el año 2020 existe una regularidad en la presencia del $PM_{2.5}$ tal como se observa en la **Figura 33**, con valores más altos entre los meses de julio a noviembre y que va de la mano con valores altos del BC, siendo en el mes de octubre donde la concentración de $PM_{2.5}$ es de $179,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estableciéndose una relación directa con las emisiones y las condiciones de carácter meteorológico como el caso de la direccionalidad del viento y de la humedad relativa de 35%, según las tablas meteorológicas.

Figura 33

Concentraciones promedio de PM_{2.5} (mayo-agosto, 2020)



Nota. PM_{2.5} Estación Purple Air, CICCAG - UNSAAC

En el año de 2020 (**Figura 34**) se observa la presencia del PM_{2.5} en el mes de noviembre con 151.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como consecuencia de las condiciones de emisiones del transporte y la meteorología de la zona; consecutivamente el comportamiento de PM_{2.5}, va en relación con el contenido del BC, siendo los valores más elevados de los tres contaminantes en los meses de julio, octubre, noviembre y diciembre; considerando el clima seco ($\text{Hr} = 30\%$) y velocidades de viento con predominancia noreste NW, superando los ECA de PM₁₀ de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas de monitoreo y de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio anual.

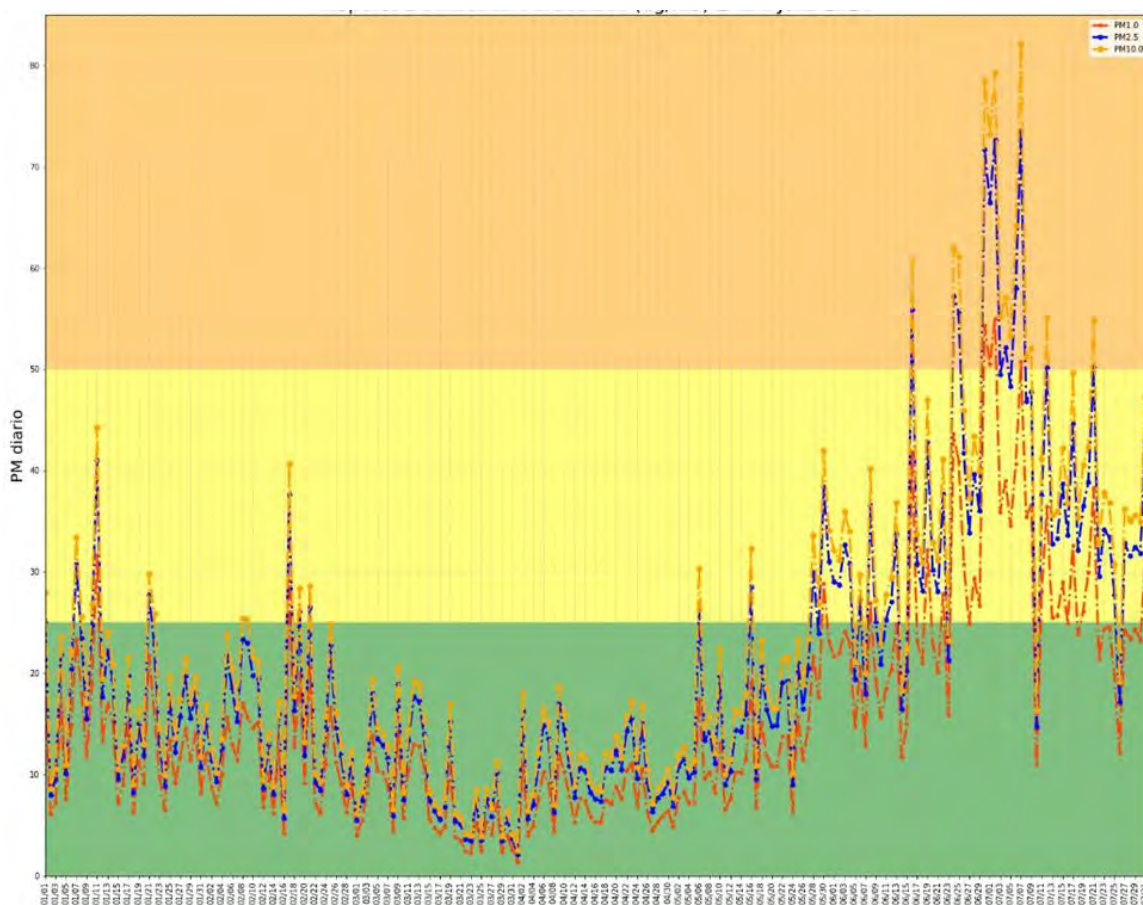
En el año 2020 se referencian dos muestras de los meses de mayo y junio que certifican la presencia del carbono negro con valores por encima del ECA de

aire para PM_{10} de acuerdo a la norma del MINAM de $50 \mu g/m^3$ para promedio anual (D.S. 003-2017 MINAM) considerando la época de lluvias con humedades relativas altas hasta de un 80% que precipitan la permanencia de los particulados en la atmósfera de la zona.

4.1.9 Interpretación de la relación del $PM_{2.5}$ y BC

Figura 34

Reporte de material particulado (mayo-agosto, 2020)



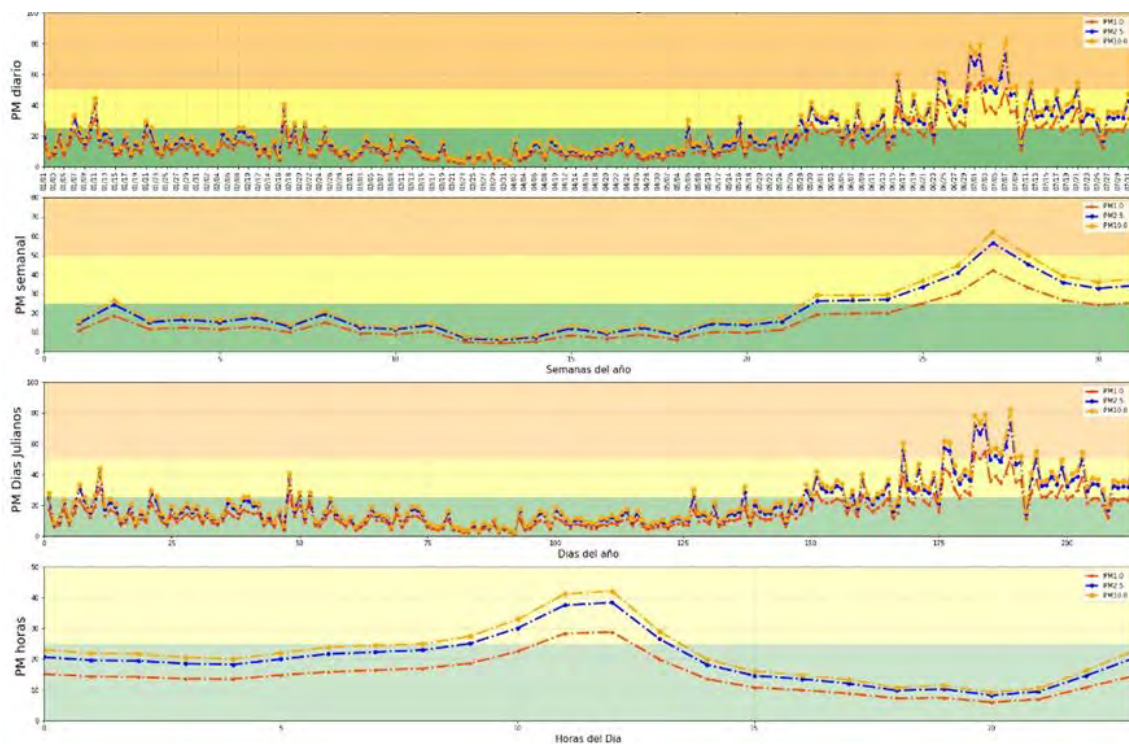
Nota. $PM_{2.5}$ Estación Purple Air, CICCAG - UNSAAC

La diferencia es más relevante en el caso de las concentraciones del $PM_{2.5}$ que son concentraciones que en la mayoría de muestras evaluadas superan al

estándar de calidad de aire para promedio anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y diario de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 35).

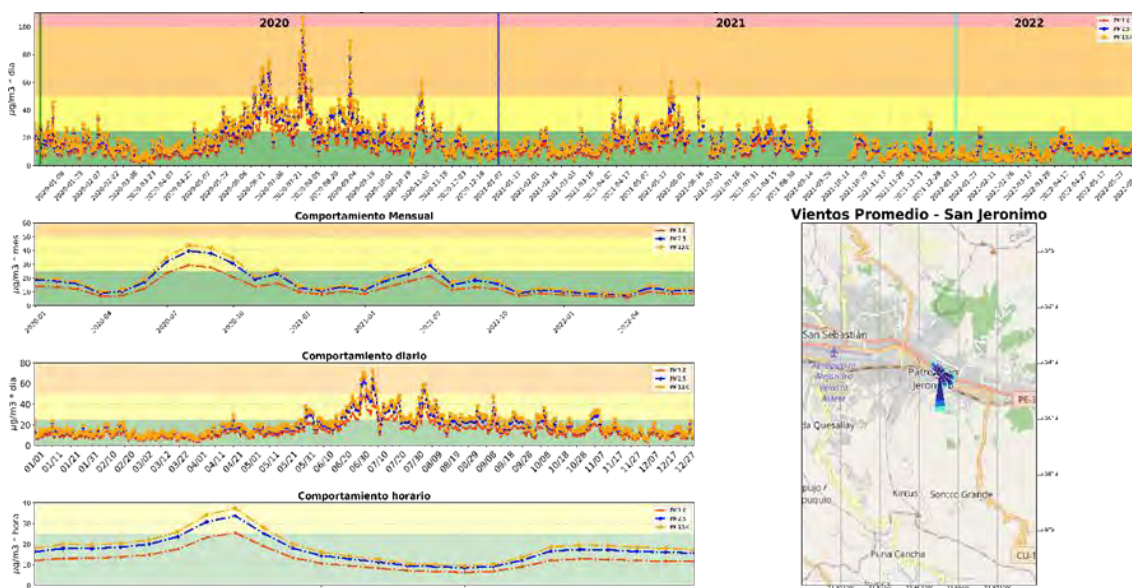
Figura 35

Reporte de $\text{PM}_{2.5}$ horario, diario y mensual (mayo-agosto, 2020)



Nota. $\text{PM}_{2.5}$ Estación Purple Air, CICCAG - UNSAAC

En el caso de La zona de Pillao Matao existe una concentración de $\text{PM}_{2.5}$ de $103,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 36).

Figura 36Serie temporal de PM_{2.5} (2019-2022)**Nota.** CICCga - UNSAAC

4.2 Prueba de hipótesis

Tabla 20*Análisis estadístico diario de PM_{2.5}*

Index	PM ₁₀	PM _{2.5}
Datos	23.0	35.0
Media	37.222	34.688
Std	38.134	49.219
Mínimo	0.0	0.0
Máximo	182.571	129.589

Tabla 21*Análisis estadístico mensual de PM_{2.5}*

Index	PM ₁₀	PM _{2.5}
Datos	9.0	9.0

Index	PM ₁₀	PM _{2.5}
Media	28.958	16.749
Std	27.043	31.42
Mínimo	1.162	0.0
Máximo	86.133	75.144

Teniendo en cuenta la hipótesis de investigación y la propuesta de la hipótesis nula, se realizan las estadísticas descriptivas para ambos casos (PM₁₀ y PM_{2.5}), obteniéndose en resumen los siguientes cuadros: Cálculo estadístico para la hipótesis - PM₁₀

Tabla 22

Cálculo estadístico para la hipótesis - PM₁₀

Estadísticas descriptivas	Grupo de control	Grupo experimental
Media	37.222	28.958
Desviación estándar	38.134	27.043
Varianza de la muestra	0,25	0.25
Observaciones	23.00	9.00

$$t = \frac{37.222 - 28.958}{\sqrt{\frac{0.25}{23.00} + \frac{0.25}{9.00}}} = 42.23$$

Se busca las regiones de aceptación o rechazo en la tabla t-Student



Nivel de significancia: 0,05

Grados de libertad:

$$(23.00 + 9.00) - 2 = 30.00$$

Luego, el valor crítico de $t = 1,6973$

$t =$

El valor de t calculado se encuentra en la región de rechazo, lo cual significa que se acepta la hipótesis de investigación, rechazándose la hipótesis nula.

Tabla 23

Cálculo estadístico para la hipótesis - PM_{2,5}

Estadísticas descriptivas	Grupo de control	Grupo experimental
Media	34.688	16.749
Desviación estándar	49.219	31.42
Varianza de la muestra	0,25	0.25
Observaciones	35.00	9.00

$$t = \frac{34.688 - 16.749}{\sqrt{\frac{0.25}{35.00} + \frac{0.25}{9.00}}} = 96.00$$

Se busca las regiones de aceptación o rechazo en la tabla t-Student (**Anexo**

5)



Nivel de significancia: 0,05

Grados de libertad:

$$(35.00 + 9.00) - 2 = 42.00$$

Luego, el valor crítico de t =1,6820

El valor de t calculado se encuentra en la región de rechazo, lo cual significa que se acepta la hipótesis de investigación, rechazándose la hipótesis nula.

4.3 Presentación de resultados

4.3.1 *Análisis de determinación del BC*

Para la determinación del BC se emplea el instrumento LAHM, un método de bajo costo para cuantificar la capacidad de absorción de las partículas recolectadas en los filtros (**Figura 36**). Inicialmente desarrollado para la medición de partículas que absorben la luz en la nieve, el instrumento LAHM también se puede utilizar para filtros de contaminación del aire (PM_{2.5}, etc.).

El análisis se puede realizar fácilmente, los filtros obtenidos, son expuestos a la luz del equipo LAHM y el software *Arduino*, representados en la columna central y cuya unidad está expresada en micro gramos por metro cubico.

Estos valores son incorporados a otro paquete de simulación del laboratorio del NCAR (National Center for Atmospheric Research), que permite conocer el albedo de cada filtro, es decir la cantidad retenida de luz, respecto al filtro en blanco o limpio, que se aprecia en la última Snow Albedo.

Figura 37

Filtros colectados en zona 4



Proceso de análisis del BC mediante el contenido en el MP.

Para realizar mediciones con LAHM, es necesario construir el apilado de placas como se muestra en la **Figura 37** El apilado de placas consta de cinco

componentes: dependiendo del tamaño del filtro, las placas. las dos tiras de plexiglás y la placa superior.

Figura 38

Instrumento LAHM (Light Absorbed Head Method)



Cuando se realiza la medición, el *Arduino* dejará de escribir datos en el monitor serie, se procede a guardar los datos y el monitor de serie activa la ventana, luego, elegimos “seleccionar todo”, desde el menú “editar”, luego “copiar” desde el menú “editar” (control-A, control-C).

Para realizar el siguiente filtro, retiramos el apilado de placas, reemplazamos con el nuevo filtro, y encendemos la luz. Luego cerramos la ventana “Monitor de serie”, desde el menú “Herramientas” y repetimos el proceso.

Cálculo de la concentración de BC fórmulas y transformaciones

Seguidamente para el **Tabla 24**, se muestra los valores obtenidos entre los filtros en blanco, a diferencia de los que contienen cierta cantidad de BC, como se aprecia en la última columna de la derecha.

Tabla 24*Cálculo de BC en filtros colectados*

Meses	Valor (μg de BC/ m^3 de aire)	Snow Albedo (SNICA1R)	Diferencia (Blanco - mes)
BLANCO	0.00	0.848279	0
Mayo 2019	19.941	0.848006	0.000273
Junio 2019	18.862	0.848028	0.000251
Julio 2019	19.981	0.847995	0.000284
Agosto 2019	17.762	0.846849	0.00143
Mayo 2020	18.889	0.848021	0.000258
Junio 2020	19.972	0.847998	0.000281
Julio 2020	41.593	0.845722	0.002557
Agosto 2020	18.869	0.848026	0.000253

Previamente se consolida el total medido de MP en los meses de estudio y este se compara con los resultados obtenidos en el cálculo de carbono negro, de esta forma calcular la fracción másica de BC (**Tabla 25**).

Tabla 25*Concentración final estimada de BC a partir de $\text{PM}_{2,5}$*

Meses	Valor (μg de BC/ m^3 de aire)
BLANCO	0
may-19	19.941
jun-19	18.862
jul-19	19.981
ago-19	17.762
may-20	18.889
jun-20	19.972
jul-20	41.593
ago-20	18.869
Concentración total de BC	192.522

Ahora es necesario calcular la concentración total de material particulado PM_{2.5} en los 4 puntos de monitoreo que no cuentan con equipo fijo (**Tabla 26**)

Para 2019

Tabla 26

Concentración total de BC (µg de BC/m³) a partir de PM_{2.5}, 2019

Mes	(1) PM _{2.5} (µg de BC/m ³)	(2) PM _{2.5} (µg de BC/m ³)	(3) PM _{2.5} (µg de BC/m ³)	(4) PM _{2.5} (µg de BC/m ³)
Mayo 2019	2118.05	1842.55	1431.08	1709.24
Junio 2019	1534.04	1675.71	1424.26	1392.65
Julio 2019	1568.84	1287.08	1874.37	1510.32
Agosto 2019	1603.43	2214.90	1329.30	1578.75
Parcial	6824.36	7020.24	6059.02	6190.96
Total	26094.57			

Tabla 27

Proporción másica entre BC y PM

$$\text{Fracción XCN/PM}_{2.5} = \frac{\text{CN}}{\text{PM}_{2.5}} \quad X = \frac{\text{Densidad de área CN}}{\text{Densidad de área PM}_{2.5}}$$

Donde se explica lo siguiente

Tabla 28

Símbolo y significado

Símbolo	Significado
$(X_{\{\text{CN/PM}_{2.5}\}})$	Fracción másica de carbono negro respecto al PM _{2.5}
$(\overline{\text{CN}})$	Promedio de carbono negro

Símbolo	Significado
$(\overline{PM_{2.5}})$	Promedio de material particulado $PM_{2.5}$
(t)	Mismo periodo de análisis
(z)	Misma zona o punto de monitoreo

Para calcular la proporción másica entre BC y el material particulado $PM_{2.5}$, se consideraron únicamente registros comparables en términos temporales y espaciales. Por ello, no se emplearon sumatorias acumuladas de periodos diferentes, sino valores promedio correspondientes al mismo periodo de análisis y a los mismos *puntos* de monitoreo. Esta corrección permite evitar sesgos derivados de comparar una concentración acumulada de CN con una concentración de $PM_{2.5}$ obtenida en una cantidad distinta de días o meses.

Tabla 29

Punto $PM_{2.5}$, 2019

Punto	$PM_{2.5}$, 2019
Punto 1	6824.36
Punto 2	7020.24
Punto 3	6059.02
Punto 4	6190.96
Total	26094.58

Cálculo de la proporción másica entre BC y $PM_{2.5}$ (mayo-agosto, 2019)

$$BC_{2019} = (19.941 + 18.862 + 19.981 + 17.762) \mu\text{g}/\text{m}^3 = 76.546 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Fracción de $[CN/PM_{2.5}]_{2019}$

$$X = \frac{76,546}{26094.57} = 0.00293$$

$$X = 0.293\%$$

Tabla 30*BC estimado por punto, 2019*

Punto de monitoreo	PM _{2.5} total 2019	Fracción CN/PM _{2.5}	CN estimado 2019
Punto 1	6824.36	0.00293	20.019
Punto 2	7020.24	0.00293	20.593
Punto 3	6059.02	0.00293	17.774
Punto 4	6190.96	0.00293	18.161
Total	26094.58	0.00293	76.546

Punto 1 (2019)**Tabla 31***Concentración estimada de BC a partir de PM_{2.5} en el punto 1, mayo-agosto, 2019*

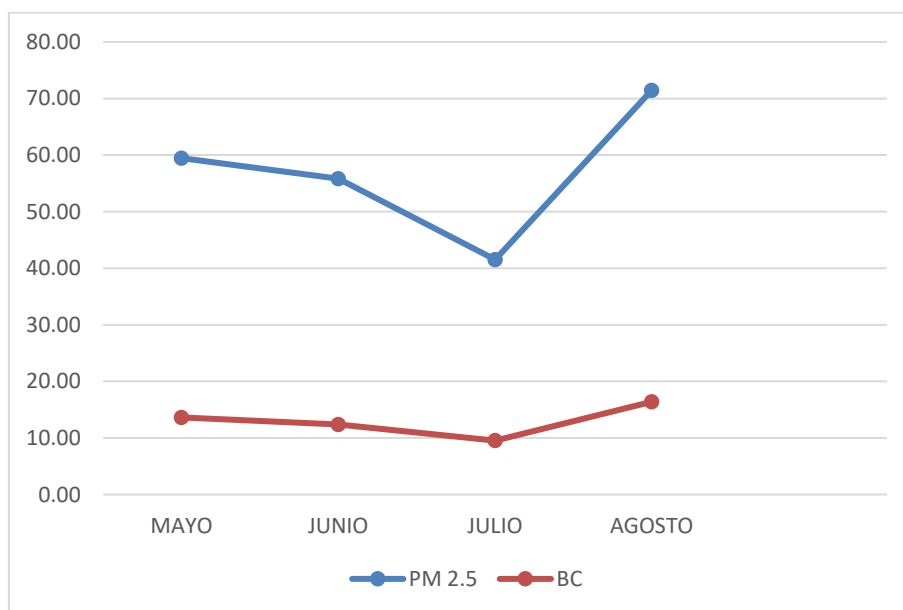
PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
37,56	0,110	65,15	0,191	61,356	0,180	57,65	0,430
22,54	0,066	61,36	0,180	35,648	0,105	41,36	0,310
39,47	0,116	47,53	0,139	19,785	0,058	35,85	0,270
67,65	0,198	65,29	0,192	17,530	0,051	33,21	0,250
77,49	0,227	46,32	0,136	48,77	0,143	68,66	0,510
80,29	0,236	54,36	0,159	49,97	0,147	69,50	0,510
83,72	0,246	47,61	0,140	65,27	0,191	72,66	0,540
80,63	0,237	61,98	0,182	59,41	0,174	65,82	0,490
64,13	0,188	60,00	0,176	40,62	0,119	41,96	0,310
85,66	0,251	57,29	0,168	40,93	0,120	46,87	0,350
79,63	0,234	59,42	0,174	52,94	0,155	69,96	0,520
78,72	0,231	50,78	0,149	47,08	0,138	45,28	0,340
92,64	0,272	40,61	0,119	52,35	0,154	49,47	0,370
50,58	0,148	41,32	0,121	64,73	0,190	50,92	0,380
49,87	0,146	55,13	0,162	52,37	0,154	53,47	0,400
52,58	0,154	36,49	0,107	63,12	0,185	49,85	0,370
67,52	0,198	67,45	0,198	58,57	0,172	52,54	0,390
81,36	0,239	31,57	0,093	42,42	0,124	39,62	0,290
74,08	0,217	33,63	0,099	60,14	0,176	58,31	0,430

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
78,05	0,229	39,13	0,115	74,24	0,218	77,01	0,570
73,95	0,217	41,20	0,121	74,06	0,217	71,21	0,530
76,10	0,223	64,87	0,190	88,03	0,258	61,54	0,460
71,41	0,209	50,22	0,147	33,36	0,098	48,23	0,360
73,76	0,216	52,31	0,153	34,24	0,100	40,66	0,300
75,57	0,222	51,01	0,150	30,46	0,089	46,79	0,350
71,40	0,209	48,50	0,142	39,03	0,114	48,15	0,360
78,13	0,229	49,78	0,146	35,19	0,103	31,48	0,230
76,29	0,224	52,21	0,153	49,93	0,146	31,41	0,230
72,48	0,213	52,05	0,153	52,72	0,155	47,00	0,350
54,58	0,160	49,48	0,145	71,76	0,211	45,29	0,340
50,21	0,147	—	—	52,81	0,155	51,70	0,380

Gráficamente se representan en las figuras; donde los *puntos* respectivamente detallan la ubicación de las estaciones de monitoreo en los meses de mayo a setiembre de 2019. relación PM_{2.5} y BC zona 1.

Figura 39

Relación PM_{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2019



En la **Figura 39**, es claro mencionar que, a mayor concentración de MP, el BC, también se activa de manera proporcional, significando un impacto moderado para la salud de las personas de los puntos 1 y alrededores.

Tabla 32

Relación PM_{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2019

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	1,000	p < 0,001	30
Junio	PM2 – BC2	0,999	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	0,999	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	0,999	p < 0,001	31

El análisis de relación de *Spearman* entre PM_{2.5} y BC corregido por mes evidenció coeficientes muy elevados en todo el periodo evaluado. En mayo se obtuvo una relación positiva perfecta, con Rho = 1,000 y p < 0,001; mientras que en junio, julio y agosto se obtuvieron coeficientes de Rho = 0,999, también con p < 0,001. Estos resultados indican que el BC corregido presenta un comportamiento directamente proporcional respecto al PM_{2.5} durante los meses de monitoreo. Es decir, a medida que aumentan las concentraciones de PM_{2.5}, también se incrementan los valores estimados de BC corregido. No obstante, debido a que el BC corregido fue calculado a partir del PM_{2.5} mediante un factor de corrección, esta relación no debe interpretarse como una relación estadística independiente, sino como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de estimación aplicado.

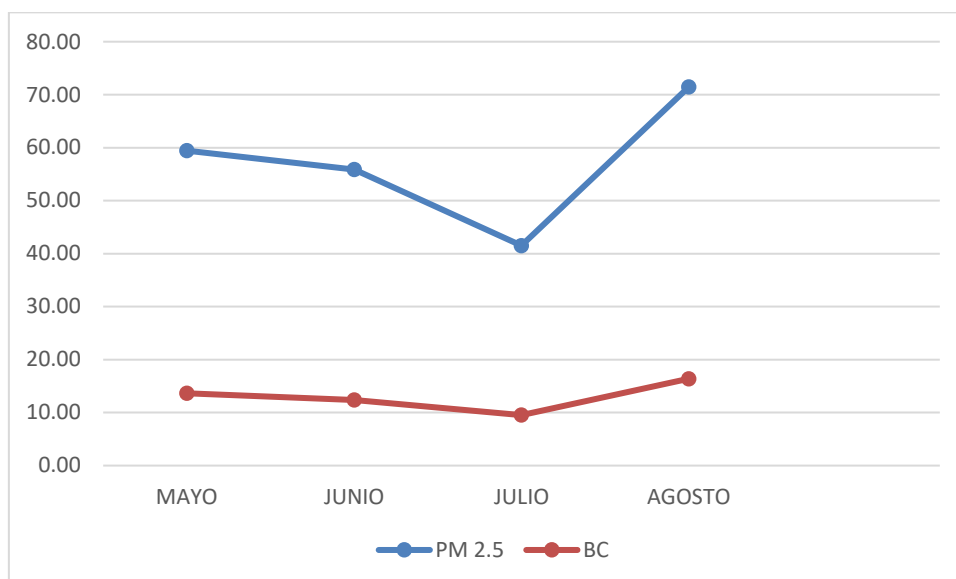
Punto 2 (2019)

Tabla 33*Concentración estimada de BC a partir de PM_{2.5}, punto 2, mayo-agosto, 2019*

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
61,36	0,180	52,59	0,154	63,67	0,187	53,45	0,157
87,65	0,257	37,56	0,110	39,41	0,115	59,96	0,176
80,58	0,236	56,46	0,165	17,53	0,051	41,56	0,122
70,12	0,205	60,21	0,176	21,91	0,064	36,58	0,107
65,08	0,191	61,66	0,181	20,98	0,061	60,20	0,176
44,83	0,131	60,04	0,176	20,48	0,060	49,41	0,145
62,78	0,184	60,75	0,178	19,01	0,056	65,04	1,949
40,96	0,120	70,73	0,207	24,08	0,071	54,88	0,161
47,46	0,139	59,78	0,175	19,01	0,056	65,99	0,193
44,18	0,129	67,44	0,198	24,08	0,071	69,56	0,204
43,12	0,126	56,52	0,166	43,12	0,126	49,60	0,145
55,90	0,164	53,61	0,157	51,14	0,150	19,13	0,056
45,74	0,134	67,75	0,199	51,07	0,150	39,86	0,117
45,85	0,134	69,59	0,204	45,73	0,134	39,36	0,115
60,44	0,177	72,92	0,214	48,24	0,141	33,61	0,098
47,09	0,138	65,52	0,192	65,44	0,192	35,72	0,105
46,28	0,136	42,60	0,125	76,93	0,225	42,67	0,125
45,53	0,133	46,08	0,135	66,06	0,194	49,89	0,146
41,25	0,121	70,74	0,207	59,41	0,174	83,87	0,246
42,86	0,126	46,14	0,135	49,72	0,146	53,51	0,157
56,66	0,166	49,95	0,146	49,23	0,144	48,88	0,143
78,09	0,229	50,33	0,147	54,02	0,158	65,00	0,190
70,70	0,207	53,51	0,157	51,39	0,151	58,37	0,171
81,99	0,240	48,88	0,143	50,35	0,148	55,39	0,162
68,68	0,201	80,49	0,236	51,61	0,151	69,59	0,204
44,17	0,129	54,06	0,158	45,22	0,132	57,02	0,167
75,83	0,222	58,09	0,170	51,00	0,149	55,98	0,164
77,73	0,228	56,41	0,165	16,83	0,049	55,61	0,163
85,75	0,251	27,50	0,081	21,48	0,063	46,08	0,135
69,73	0,204	17,80	0,052	20,85	0,061	52,99	0,155
54,16	0,159	—	—	48,07	0,141	46,14	0,135

Figura 40

Relación PM_{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2019

**Tabla 34**

Relación PM_{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2019

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	1,000	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	0,999	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	0,999	p < 0,001	31

En el punto 2, el análisis de relación de *Spearman* entre PM_{2.5} y BC evidenció una relación positiva muy alta durante los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2019. En mayo y julio se obtuvo una relación positiva perfecta, con Rho = 1,000 y p < 0,001; mientras que en junio y agosto se registró una relación positiva casi perfecta, con Rho = 0,999 y p < 0,001. Estos resultados indican que, a medida que aumentan las concentraciones de PM_{2.5}, también se incrementan los valores estimados de BC. No obstante, debido a que el BC fue estimado a partir del PM_{2.5} mediante un factor de corrección, esta relación debe entenderse como una

proporcionalidad matemática derivada del método de cálculo aplicado, y no como una asociación estadística independiente entre dos variables medidas separadamente.

Punto 3 (2019)

Tabla 35

Concentración estimada de BC a partir de PM_{2.5}, punto 3. mayo-agosto, 2019

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
93,91	0,275	72,10	0,211	29,53	0,087	27,30	0,080
70,12	0,206	53,60	0,157	46,36	0,136	25,77	0,076
57,53	0,169	17,53	0,051	60,27	0,177	19,52	0,057
80,12	0,235	26,30	0,077	57,57	0,169	15,71	0,046
49,95	0,147	37,96	0,111	52,91	0,155	56,00	0,164
50,33	0,148	27,03	0,079	54,31	0,159	68,97	0,202
53,51	0,157	37,99	0,111	56,05	0,164	72,24	0,212
48,88	0,143	61,68	0,181	53,34	0,156	48,48	0,142
50,92	0,149	40,68	0,119	75,02	0,220	51,81	0,152
53,88	0,158	46,83	0,137	62,64	0,184	61,41	0,180
58,03	0,170	45,97	0,135	51,76	0,152	54,66	0,160
39,11	0,115	47,93	0,141	42,94	0,126	21,74	0,064
15,31	0,045	38,66	0,113	59,75	0,175	19,60	0,057
29,12	0,085	54,86	0,161	50,25	0,147	19,00	0,056
43,41	0,127	59,32	0,174	54,76	0,161	22,78	0,067
22,74	0,067	50,77	0,149	64,12	0,188	17,27	0,051
24,89	0,073	49,12	0,144	60,67	0,178	26,47	0,078
30,65	0,090	52,90	0,155	60,32	0,177	47,48	0,139
37,95	0,111	44,62	0,131	62,23	0,183	47,31	0,139
29,85	0,088	46,57	0,137	69,56	0,204	47,37	0,139
38,27	0,112	50,33	0,148	53,40	0,157	53,04	0,156
56,84	0,167	52,58	0,154	65,37	0,192	64,60	0,189
49,29	0,145	46,33	0,136	56,96	0,167	53,12	0,156
45,97	0,135	42,60	0,125	55,69	0,163	34,52	0,101

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
47,93	0,141	45,46	0,133	68,22	0,200	47,83	0,140
44,60	0,131	48,29	0,142	75,69	0,222	48,79	0,143
54,73	0,161	50,99	0,150	81,58	0,239	46,91	0,138
46,10	0,135	49,13	0,144	86,22	0,253	42,49	0,125
26,02	0,076	62,14	0,182	80,65	0,237	54,08	0,159
40,85	0,120	64,00	0,188	70,93	0,208	56,05	0,164
40,27	0,118	—	—	55,30	0,162	56,97	0,167

Figura 41

Relación PM_{2.5} y BC, punto 3. mayo-agosto, 2019

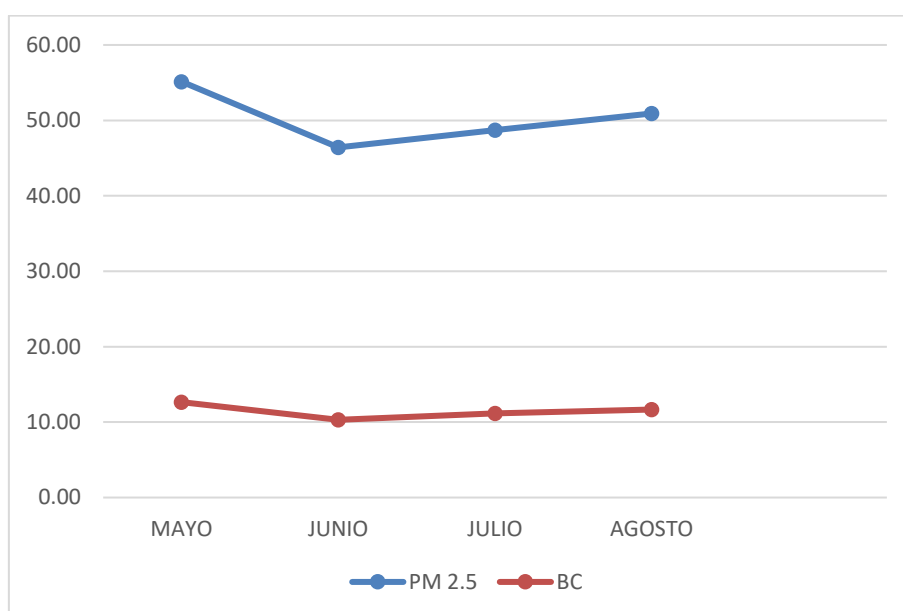


Tabla 36

Relación PM_{2.5} y BC, punto 3. mayo-agosto, 2019

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	1,000	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	1,000	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	p < 0,001	31

La **Figura 41**, correspondiente al punto de monitoreo 3, sector Villa El Sol, muestra el comportamiento de las concentraciones de $PM_{2,5}$ y BC durante los meses de mayo a agosto de 2019. Se observa que el mes de julio presenta un incremento en las concentraciones de $PM_{2,5}$, acompañado por un incremento proporcional del BC. En agosto, los valores estimados de BC disminuyen respecto al mes anterior, lo que evidencia una variación temporal en el comportamiento del contaminante. Aunque los valores de BC son menores en magnitud respecto al $PM_{2,5}$, su importancia ambiental se relaciona con su capacidad de absorción de radiación y su contribución al forzamiento radiativo atmosférico.

Punto 4 (2019)

Tabla 37

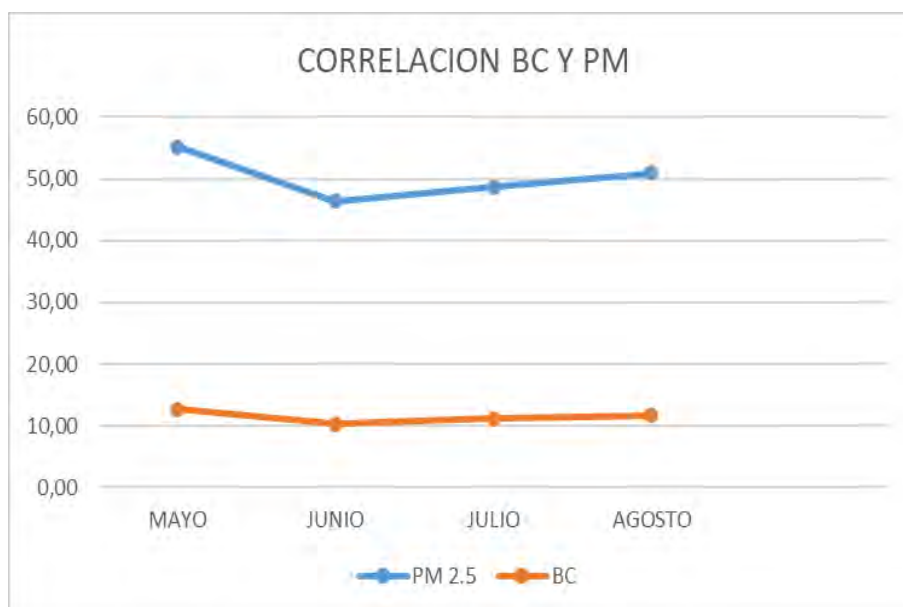
Concentración estimada de BC a partir de $PM_{2,5}$, punto 4. mayo-agosto, 2019

$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC
57,82	0,170	27,13	0,080	13,66	0,040	22,87	0,067
34,72	0,102	29,18	0,086	19,05	0,056	14,29	0,042
30,96	0,091	21,01	0,062	24,58	0,072	20,26	0,059
36,62	0,107	18,12	0,053	23,18	0,068	24,92	0,073
46,23	0,136	32,08	0,094	50,95	0,149	54,88	0,161
50,15	0,147	33,67	0,099	55,24	0,162	57,71	0,169
50,38	0,148	52,44	0,154	55,98	0,164	73,30	0,215
40,99	0,120	70,12	0,206	52,57	0,154	60,27	0,177
23,66	0,069	44,28	0,130	55,77	0,164	59,16	0,174
50,85	0,149	63,70	0,187	41,56	0,122	56,02	0,164
65,76	0,193	44,78	0,131	40,75	0,120	51,52	0,151
58,20	0,171	50,82	0,149	45,83	0,134	71,76	0,210
67,09	0,197	75,43	0,221	44,29	0,130	72,46	0,213
60,24	0,177	84,30	0,247	46,29	0,136	78,05	0,229
60,15	0,176	34,02	0,100	47,91	0,141	86,63	0,254

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
58,76	0,172	44,80	0,131	44,52	0,131	79,68	0,234
58,11	0,170	51,20	0,150	42,86	0,126	77,65	0,228
60,34	0,177	56,28	0,165	55,08	0,162	56,59	0,166
67,72	0,199	56,18	0,165	60,70	0,178	53,12	0,156
56,70	0,166	53,52	0,157	52,58	0,154	68,88	0,202
69,04	0,203	46,49	0,136	57,10	0,167	71,07	0,208
64,76	0,190	36,94	0,108	54,30	0,159	70,70	0,207
57,85	0,170	40,53	0,119	76,09	0,223	53,04	0,156
63,80	0,187	43,19	0,127	63,41	0,186	59,79	0,175
68,22	0,200	51,91	0,152	48,38	0,142	55,20	0,162
65,09	0,191	53,06	0,156	45,08	0,132	25,68	0,075
67,27	0,197	30,17	0,088	61,17	0,179	17,90	0,053
63,34	0,186	46,85	0,137	50,05	0,147	21,08	0,062
53,29	0,156	49,90	0,146	52,69	0,155	20,33	0,060
51,31	0,151	50,55	0,148	62,30	0,183	18,98	0,056
49,82	0,146	—	—	66,40	0,195	24,96	0,073

Figura 42

Relación PM_{2.5} y BC, punto 4. mayo-agosto, 2019



Tanto en la **Tabla 37** como la **Figura 42**, del punto 4, lugar donde se instaló el equipo de monitoreo de MP, hace notar que tanto este contaminante como el BC, disminuyen sustancialmente, pues al encontrarse ligeramente fuera del ámbito de producción mayoritaria de BC, registra valores bajos.

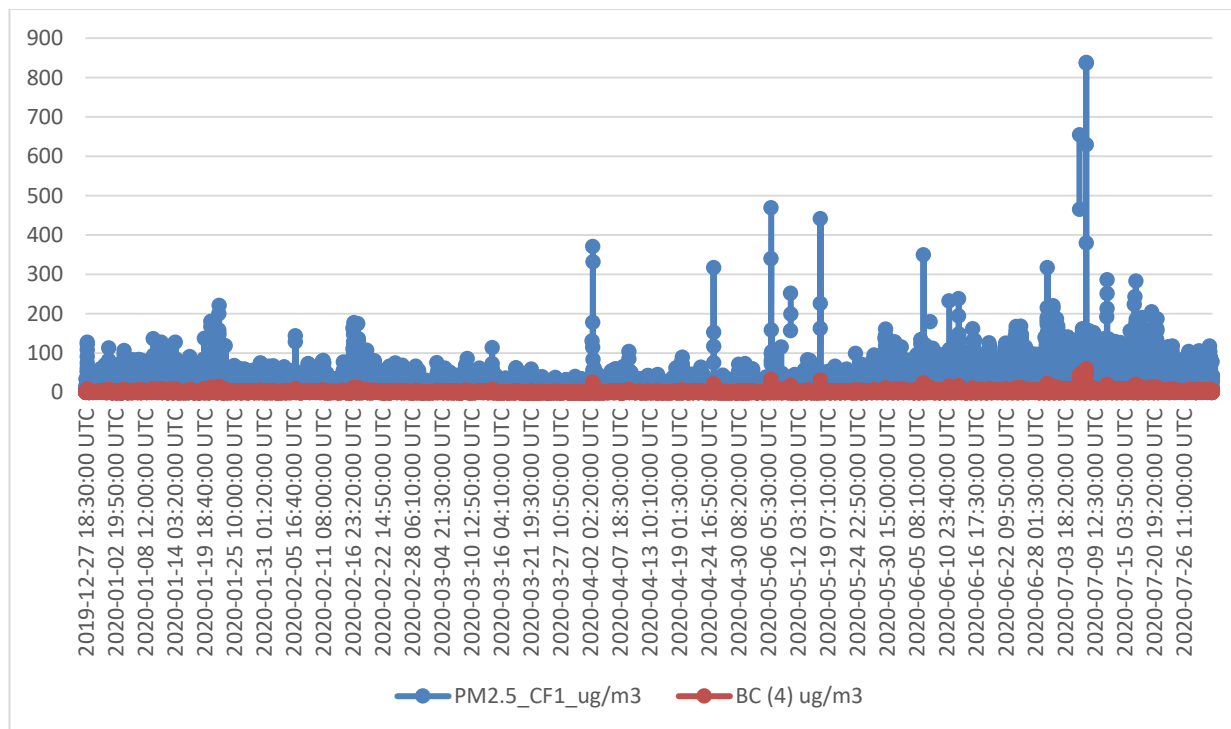
Esto, no significa que existan los antes mencionados, pues también la fuente de producción es el parque automotor y las actividades domésticas donde se utilizan biomasa como combustible.

Tabla 38

Relación PM_{2.5} y BC punto 4. mayo-agosto, 2019

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	1,000	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	1,000	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	p < 0,001	31

En el punto 4, el análisis de relación de *Spearman* entre PM_{2.5} y BC evidenció una relación positiva perfecta durante los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2019. En todos los meses evaluados se obtuvo un coeficiente Rho = 1,000, con una significancia bilateral de p < 0,001, lo que demuestra una relación estadísticamente significativa al nivel de confianza del 99%. Estos resultados indican que los valores estimados de BC aumentan proporcionalmente conforme se incrementan las concentraciones de PM_{2.5}. No obstante, debido a que el BC fue calculado a partir del PM_{2.5} mediante un factor de corrección, esta relación debe interpretarse como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de estimación, y no como una relación estadística independiente entre variables medidas separadamente.

Figura 43*Relación PM_{2.5} y BC punto 4*

La **Figura 43**, representa la relación directa entre el PM_{2.5} y BC en el punto 4, aquí, a diferencia de los otros puntos de monitoreo, se puede apreciar datos de algunos días que no están en el reporte de los otros meses, valores que consideramos necesarios de analizarlos, para identificar de mejor forma la presencia de BC en el distrito de San Jerónimo.

Ahora es necesario calcular la concentración total de material particulado PM_{2.5} en los 4 puntos de monitoreo que no cuentan con equipo fijo (Tabla N°35) para el año 2020.

Para 2020

Tabla 39*Concentración total de BC ($\mu\text{g de BC/m}^3$) a partir de PM_{2.5}, 2020*

Mes	(1) PM _{2.5} ($\mu\text{g de BC/m}^3$)	(2) PM _{2.5} ($\mu\text{g de BC/m}^3$)	(3) PM _{2.5} ($\mu\text{g de BC/m}^3$)	(4) PM _{2.5} ($\mu\text{g de BC/m}^3$)
Mayo 2020	1547.46	1610.43	1777.12	1777.12
Junio 2020	1648.40	1941.12	1199.79	1199.79
Julio 2020	1302.72	1876.15	1730.87	1730.87
Agosto 2020	1683.07	1509.00	1398.40	1398.40
Parcial	6181.65	6936.70	6106.19	6106.19
Total	25330.72			

Tabla 40*Punto PM_{2.5}, 2020*

Punto	PM _{2.5} , 2020
Punto 1	6181.65
Punto 2	6936.70
Punto 3	6106.18
Punto 4	5658.07
Total	24882.60

Cálculo de la proporción másica entre BC y PM_{2.5} (mayo-agosto, 2020)

$$\text{BC}_{2019} = (18.889 + 19.972 + 41.593 + 18.869) \mu\text{g/m}^3 = 99,323 \mu\text{g/m}^3$$

Fracción de [CN/PM_{2.5}]₂₀₂₀

$$X = \frac{99,323}{24882.60} = 0.00399$$

$$X = 0.399\%$$

Tabla 41*BC estimado por punto, 2020*

Punto de monitoreo	PM _{2.5} total 2020	Fracción CN/PM _{2.5}	CN estimado 2020
Punto 1	6181.65	0.00399	24.675

Punto de monitoreo	PM _{2.5} total 2020	Fracción CN/PM _{2.5}	CN estimado 2020
Punto 2	6936.70	0.00399	27.689
Punto 3	6106.18	0.00399	24.374
Punto 4	5658.07	0.00399	22.585
Total	24882.60	0.00399	99.323

Punto 1 (2020)

Tabla 42

Concentración estimada de BC a partir de PM_{2.5} en el punto 1, mayo-agosto, 2020

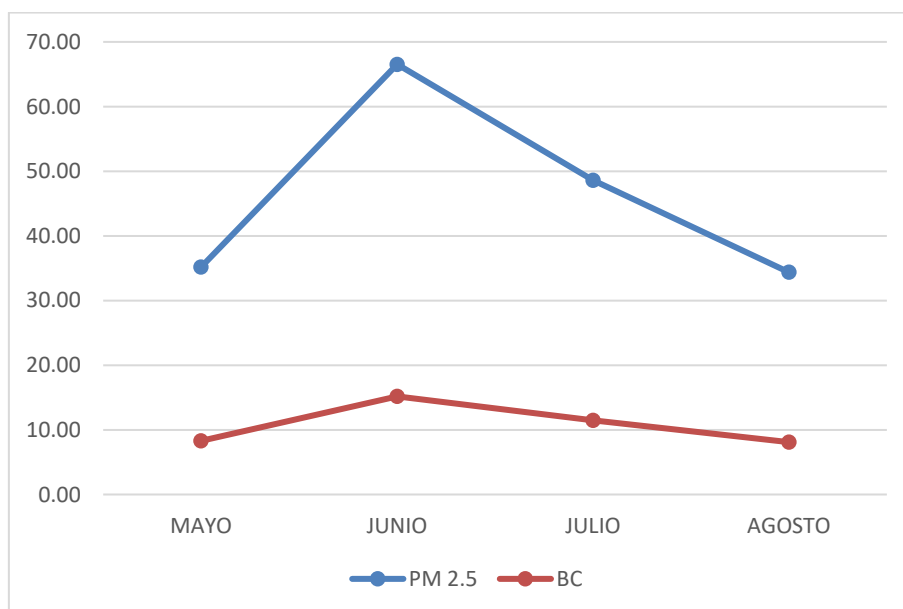
PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
37,56	0,150	65,15	0,260	61,356	0,245	57,65	0,230
22,54	0,090	61,36	0,245	35,648	0,142	41,36	0,165
39,47	0,158	47,53	0,190	19,785	0,079	35,85	0,143
67,65	0,270	65,29	0,261	17,530	0,070	33,21	0,133
77,49	0,309	46,32	0,185	48,77	0,195	68,66	0,274
80,29	0,320	54,36	0,217	49,97	0,199	69,50	0,277
83,72	0,334	47,61	0,190	65,27	0,261	72,66	0,290
80,63	0,322	61,98	0,247	59,41	0,237	65,82	0,263
64,13	0,256	60,00	0,239	40,62	0,162	41,96	0,167
85,66	0,342	57,29	0,229	40,93	0,163	46,87	0,187
79,63	0,318	59,42	0,237	52,94	0,211	69,96	0,279
78,72	0,314	50,78	0,203	47,08	0,188	45,28	0,181
92,64	0,370	40,61	0,162	52,35	0,209	49,47	0,197
50,58	0,202	41,32	0,165	64,73	0,258	50,92	0,203
49,87	0,199	55,13	0,220	52,37	0,209	53,47	0,213
52,58	0,210	36,49	0,146	63,12	0,252	49,85	0,199
67,52	0,270	67,45	0,269	58,57	0,234	52,54	0,210
81,36	0,325	31,57	0,126	42,42	0,169	39,62	0,158
74,08	0,296	33,63	0,134	60,14	0,240	58,31	0,233
78,05	0,312	39,13	0,156	74,24	0,296	77,01	0,307
73,95	0,295	41,20	0,164	74,06	0,296	71,21	0,284
76,10	0,304	64,87	0,259	88,03	0,351	61,54	0,246
71,41	0,285	50,22	0,200	33,36	0,133	48,23	0,193

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
73,76	0,294	52,31	0,209	34,24	0,137	40,66	0,162
75,57	0,302	51,01	0,204	30,46	0,122	46,79	0,187
71,40	0,285	48,50	0,194	39,03	0,156	48,15	0,192
78,13	0,312	49,78	0,199	35,19	0,140	31,48	0,126
76,29	0,305	52,21	0,208	49,93	0,199	31,41	0,125
72,48	0,289	52,05	0,208	52,72	0,210	47,00	0,188
54,58	0,218	49,48	0,198	71,76	0,286	45,29	0,181
50,21	0,200	—	—	52,81	0,211	51,70	0,206

Gráficamente se representan en las figuras; donde los puntos respectivamente detallan la ubicación de las estaciones de monitoreo en los meses de mayo a setiembre del 2020.

Figura 44

Relación PM_{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2020



En la **Figura 44** se aprecia que a mayor concentración de MP, se activa de manera proporcional, significando un impacto moderado para la salud de las personas del punto 1 y alrededores.

Tabla 43

Relación PM_{2.5} y BC, punto 1, mayo-agosto, 2020

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	1,000	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	1,000	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	p < 0,001	31

En el punto 1, durante los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2020, el análisis de relación de *Spearman* entre PM_{2.5} y BC estimado evidenció una relación positiva perfecta en todos los meses evaluados, con coeficientes Rho = 1,000 y valores de significancia p < 0,001. Estos resultados indican que, a medida que aumentan las concentraciones de PM_{2.5}, también se incrementan proporcionalmente los valores estimados de BC.

No obstante, debido a que el BC fue estimado a partir del PM_{2.5} mediante un factor de corrección, esta relación no debe interpretarse como una asociación estadística independiente, sino como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de cálculo aplicado. Asimismo, descriptivamente se observa que mayo presentó los valores más altos de PM_{2.5}, alcanzando hasta 92,64 µg/m³, con un BC estimado de 0,370 µg/m³; mientras que en julio también se registraron valores elevados, con PM_{2.5} de hasta 88,03 µg/m³ y BC de 0,351 µg/m³.

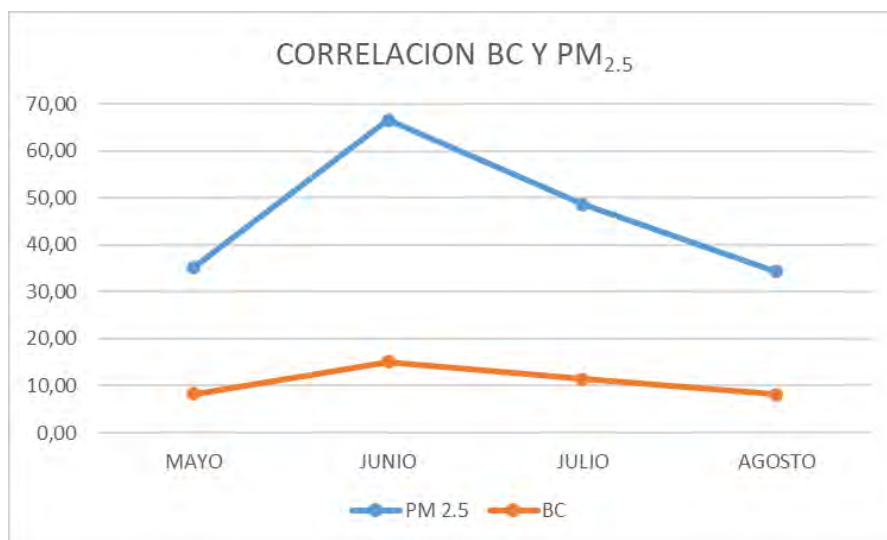
Punto 2 (2020)**Tabla 44***Concentración estimada de BC a partir de PM_{2.5} en el punto 2, mayo-agosto, 2020*

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
61,36	0,245	52,59	0,210	63,67	0,254	37,34	0,149
87,65	0,350	37,56	0,150	39,41	0,157	26,30	0,105
80,58	0,322	56,46	0,225	17,53	0,070	34,89	0,139
70,12	0,280	60,21	0,240	21,91	0,087	22,96	0,092
46,50	0,186	37,94	0,151	81,87	0,327	51,20	0,204
54,04	0,216	31,21	0,125	86,52	0,345	50,80	0,203
74,71	0,298	27,03	0,108	72,42	0,289	50,09	0,200
59,50	0,238	54,70	0,218	81,47	0,325	49,81	0,199
43,99	0,176	61,68	0,246	75,84	0,303	52,06	0,208
75,96	0,303	40,68	0,162	78,07	0,312	49,66	0,198
61,53	0,246	46,83	0,187	77,97	0,311	49,87	0,199
59,34	0,237	45,97	0,183	76,29	0,305	48,88	0,195
56,56	0,226	47,93	0,191	75,52	0,301	54,70	0,218
44,48	0,178	77,73	0,310	75,21	0,300	48,91	0,195
46,32	0,185	78,05	0,312	72,57	0,290	49,90	0,199
53,50	0,214	86,63	0,346	63,52	0,254	50,66	0,202
59,72	0,238	79,68	0,318	63,11	0,252	49,91	0,199
52,82	0,211	77,65	0,310	64,39	0,257	50,18	0,200
51,46	0,205	81,29	0,324	52,34	0,209	52,88	0,211
32,42	0,129	83,28	0,332	57,08	0,228	50,79	0,203
32,85	0,131	79,56	0,318	54,05	0,216	35,82	0,143
42,64	0,170	79,87	0,319	58,77	0,235	39,32	0,157
46,29	0,185	78,26	0,312	54,37	0,217	52,21	0,208
51,00	0,204	73,21	0,292	52,49	0,210	57,68	0,230
38,43	0,153	79,62	0,318	46,25	0,185	54,64	0,218
39,97	0,160	74,86	0,299	49,81	0,199	76,41	0,305
46,44	0,185	77,60	0,310	52,78	0,211	63,97	0,255
38,84	0,155	78,96	0,315	53,50	0,214	46,36	0,185
24,02	0,096	74,29	0,297	51,48	0,205	47,28	0,189
26,02	0,104	79,79	0,318	54,95	0,219	60,96	0,243

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
51,37	0,205	—	—	50,98	0,203	42,58	0,170

Figura 45

Relación PM_{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020

**Tabla 45**

Relación PM_{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	0,999	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	0,998	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	p < 0,001	31

En el punto 2, durante el periodo mayo-agosto de 2020, el análisis de Rho de *Spearman* entre PM_{2.5} y BC evidenció una relación positiva muy alta y estadísticamente significativa. En mayo se obtuvo un coeficiente Rho = 0,999; en junio, Rho = 0,998; y en julio y agosto, Rho = 1,000, todos con significancia p <

0,001. Estos resultados indican que los valores estimados de BC aumentan proporcionalmente conforme se incrementan las concentraciones de $PM_{2,5}$.

No obstante, debido a que el BC fue estimado a partir del $PM_{2,5}$ mediante un factor de corrección, esta relación debe interpretarse como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de cálculo aplicado, y no como una asociación estadística independiente. Descriptivamente, junio presentó los mayores valores promedio, con $64,70 \mu g/m^3$ de $PM_{2,5}$ y $0,258 \mu g/m^3$ de BC, seguido de julio con $60,52 \mu g/m^3$ de $PM_{2,5}$ y $0,242 \mu g/m^3$ de BC. Por el contrario, agosto registró los menores valores promedio, con $48,68 \mu g/m^3$ de $PM_{2,5}$ y $0,194 \mu g/m^3$ de BC.

Punto 3 (2020)

Tabla 46

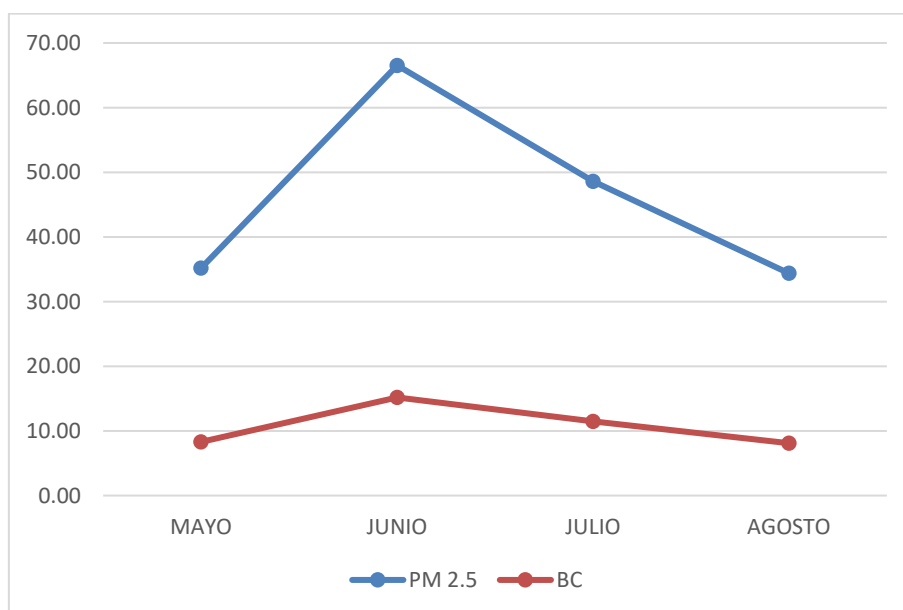
Concentración estimada de BC a partir de $PM_{2,5}$ en el punto 3, mayo-agosto, 2020

$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC	$PM_{2,5}$	BC
93,91	0,375	72,10	0,288	29,53	0,118	27,30	0,109
70,12	0,280	53,60	0,214	46,36	0,185	25,77	0,103
57,53	0,230	17,53	0,070	60,27	0,241	19,52	0,078
80,12	0,320	26,30	0,105	57,57	0,230	15,71	0,063
50,85	0,203	20,48	0,082	74,98	0,299	50,10	0,00
61,01	0,244	19,01	0,076	59,58	0,238	62,68	0,250
67,01	0,267	35,33	0,141	53,27	0,213	35,53	0,142
54,07	0,216	45,03	0,180	38,55	0,154	51,66	0,206
66,80	0,267	51,14	0,204	60,30	0,241	47,23	0,189
71,41	0,285	51,07	0,204	66,39	0,265	42,11	0,168
71,20	0,284	52,04	0,208	72,89	0,291	51,83	0,207
67,77	0,271	51,54	0,206	67,62	0,270	30,58	0,122
71,40	0,285	55,36	0,221	67,99	0,271	44,19	0,176
61,63	0,246	48,52	0,194	71,55	0,286	48,11	0,192

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
49,67	0,198	53,55	0,214	56,07	0,224	46,87	0,187
52,38	0,209	57,02	0,228	57,91	0,231	40,87	0,163
46,81	0,187	47,54	0,190	61,63	0,246	53,33	0,213
73,12	0,292	39,88	0,159	63,99	0,255	53,51	0,214
65,81	0,263	37,16	0,148	60,88	0,243	51,59	0,206
68,56	0,274	42,31	0,169	55,50	0,222	48,45	0,193
71,20	0,284	23,83	0,095	59,44	0,237	59,68	0,238
42,12	0,168	14,56	0,058	57,47	0,229	63,12	0,252
17,21	0,069	40,59	0,162	61,60	0,246	61,92	0,247
46,25	0,185	21,91	0,087	54,65	0,218	29,70	0,119
64,32	0,257	16,02	0,064	59,00	0,236	49,50	0,198
54,06	0,216	11,41	0,046	53,45	0,213	39,84	0,159
58,09	0,232	20,77	0,083	50,02	0,200	40,01	0,160
56,41	0,225	43,83	0,175	25,78	0,103	53,16	0,212
27,50	0,110	66,13	0,264	48,63	0,194	62,36	0,249
17,80	0,071	64,24	0,256	43,81	0,175	48,29	0,193
20,98	0,084	—	—	34,19	0,136	43,87	0,175

Figura 46

Relación PM_{2.5} y BC, punto 3, mayo-agosto, 2020



La **Figura 45** muestra que el punto de monitoreo 3, sector Villa el Sol, permite determinar que la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ está dentro de los parámetros establecidos, siendo el mes de julio donde se nota un incremento por encima de los estándares. Al mismo tiempo, el BC desciende para el mes de agosto, sin embargo, de acuerdo a la teoría, este valor pequeño aparentemente, es capaz de causar el forzamiento radiactivo de la atmosfera.

Tabla 47

Relación $PM_{2.5}$ y BC, punto 3, mayo-agosto, 2020

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	0,998	$p < 0,001$	31
Junio	PM2 – BC2	1,000	$p < 0,001$	30
Julio	PM3 – BC3	1,000	$p < 0,001$	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	$p < 0,001$	31

En el punto 3, sector Villa El Sol, durante el periodo mayo-agosto de 2020, el análisis de Rho de *Spearman* entre $PM_{2.5}$ y BC evidenció una relación positiva muy alta y estadísticamente significativa. En mayo se obtuvo un coeficiente Rho = 0,998, mientras que en junio, julio y agosto se obtuvo Rho = 1,000, todos con significancia $p < 0,001$. Estos resultados indican que los valores estimados de carbono negro aumentan proporcionalmente conforme se incrementan las concentraciones de $PM_{2.5}$.

Sin embargo, debido a que el BC fue estimado a partir del $PM_{2.5}$ mediante un factor de corrección, esta relación no debe interpretarse como una asociación estadística independiente, sino como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de cálculo aplicado. Descriptivamente, mayo presentó registros elevados de $PM_{2.5}$, alcanzando hasta $93,91 \mu g/m^3$, con un BC estimado de 0,375

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, julio mostró valores importantes, con $\text{PM}_{2.5}$ de hasta $74,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y BC de $0,299 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando variación temporal en la concentración de MP fino y BC estimado en el punto 3.

Punto 4 (2020)

Tabla 48

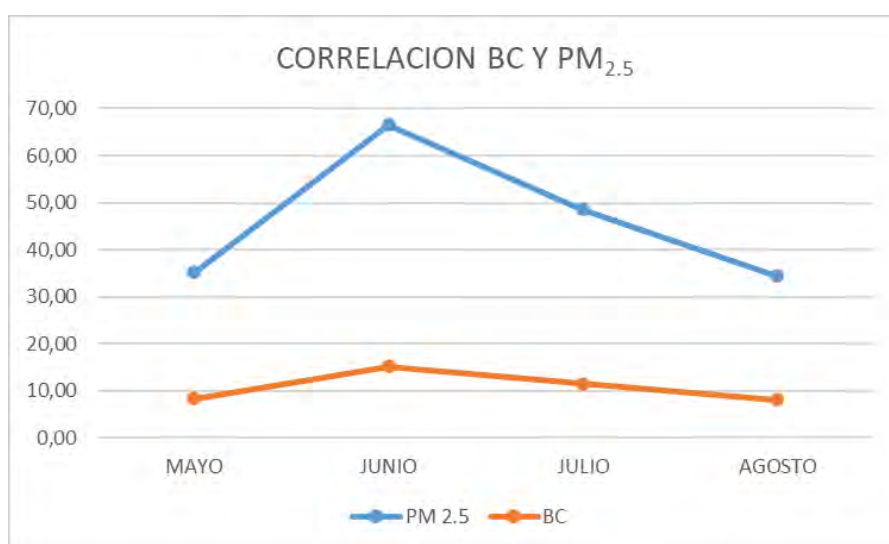
Concentración estimada de BC a partir de $\text{PM}_{2.5}$ en el punto 4, mayo-agosto, 2020

$\text{PM}_{2.5}$	BC	$\text{PM}_{2.5}$	BC	$\text{PM}_{2.5}$	BC	$\text{PM}_{2.5}$	BC
57,82	0,231	27,13	0,108	13,66	0,055	16,75	0,067
34,72	0,139	29,18	0,116	19,05	0,076	25,29	0,101
30,96	0,124	21,01	0,084	24,58	0,098	21,22	0,085
36,62	0,146	18,12	0,072	19,29	0,077	22,19	0,089
22,53	0,090	26,99	0,108	98,56	0,393	5,35	0,021
53,82	0,215	31,46	0,126	93,75	0,374	4,58	0,018
34,36	0,137	30,85	0,123	86,82	0,347	6,36	0,025
34,83	0,139	28,87	0,115	73,08	0,292	6,08	0,024
51,44	0,205	31,24	0,125	64,54	0,258	4,16	0,017
42,83	0,171	27,61	0,110	56,49	0,225	5,98	0,024
46,86	0,187	30,63	0,122	78,14	0,312	5,87	0,023
44,28	0,177	31,12	0,124	78,06	0,312	1,28	0,005
39,53	0,158	37,05	0,148	70,35	0,281	3,27	0,013
37,28	0,149	38,31	0,153	64,22	0,256	3,25	0,013
35,94	0,143	35,78	0,143	51,01	0,204	3,59	0,014
39,14	0,156	35,63	0,142	46,52	0,186	2,43	0,010
35,03	0,140	49,54	0,198	46,68	0,186	2,52	0,010
34,76	0,139	72,40	0,289	52,60	0,210	46,84	0,187
34,00	0,136	84,46	0,337	53,62	0,214	78,22	0,312
31,84	0,127	90,87	0,363	53,52	0,214	81,93	0,327
27,05	0,108	78,15	0,312	49,09	0,196	72,40	0,289
6,81	0,027	109,04	0,435	61,89	0,247	72,51	0,289
0,22	0,001	114,80	0,458	60,81	0,243	87,48	0,349
4,79	0,019	110,75	0,442	54,13	0,216	77,86	0,311

PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC	PM _{2.5}	BC
44,10	0,176	102,58	0,409	45,97	0,183	73,00	0,291
77,50	0,309	124,19	0,496	46,53	0,186	64,51	0,258
41,95	0,167	136,93	0,547	37,03	0,148	62,57	0,250
23,40	0,093	132,19	0,528	0,09	0,000	51,91	0,207
28,74	0,115	169,68	0,677	3,08	0,012	51,50	0,206
28,23	0,113	139,48	0,557	1,80	0,007	48,26	0,193
28,76	0,115	—	—	1,40	0,006	56,37	0,225

Figura 47

Relación PM_{2.5} y BC, punto 2, mayo-agosto, 2020



Tanto en la **Tabla 48** como la **Figura 47**, del punto 4, lugar donde se instaló el equipo de monitoreo de MP, hace notar que tanto este contaminante como el BC, disminuyen sustancialmente, pues al encontrarse ligeramente fuera del ámbito de producción mayoritaria de BC, registra valores bajos.

Esto, no significa que existan los antes mencionados, pues también la fuente de producción es el parque automotor y las actividades domésticas donde se utilizan biomasa como combustible.

Tabla 49*Relación PM_{2.5} y BC, punto 4, mayo-agosto, 2020*

Mes	Relación evaluada	Rho de Spearman	Sig. bilateral	N
Mayo	PM1 – BC1	0,999	p < 0,001	31
Junio	PM2 – BC2	1,000	p < 0,001	30
Julio	PM3 – BC3	0,999	p < 0,001	31
Agosto	PM4 – BC4	1,000	p < 0,001	31

En el punto 4, durante el periodo mayo-agosto de 2020, el análisis de Rho de *Spearman* entre PM_{2,5} y BC evidenció una relación positiva muy alta y estadísticamente significativa. En mayo se obtuvo un coeficiente Rho = 0,999; en junio, Rho = 1,000; en julio, Rho = 0,999; y en agosto, Rho = 1,000, todos con valores de significancia p < 0,001. Estos resultados indican que los valores estimados de BC aumentan proporcionalmente conforme se incrementan las concentraciones de PM_{2,5}.

No obstante, debido a que el BC fue estimado a partir del PM_{2,5} mediante un factor de corrección, esta relación debe interpretarse como una proporcionalidad matemática derivada del procedimiento de cálculo aplicado, y no como una asociación estadística independiente. Descriptivamente, junio presentó los mayores valores promedio, con 66,53 µg/m³ de PM_{2,5} y 0,266 µg/m³ de BC, seguido de julio con 48,59 µg/m³ de PM_{2,5} y 0,194 µg/m³ de BC. En agosto se registró una disminución promedio, con 34,37 µg/m³ de PM_{2,5} y 0,137 µg/m³ de BC.

4.3.1 Comparación de resultados

Tabla 50

Análisis comparativo re resultados 2019 y 2020

Punto de monitoreo	PM _{2.5} (µg/m³)			BC(µg/m³)		
	2019	2020	Variación	2019	2020	Variación
Punto 1	6824.37	6181.65	-9.42 %	20.019	24.675	+23.26 %
Punto 2	7020.23	6936.70	-1.19 %	20.593	27.689	+34.46 %
Punto 3	6059.01	6106.18	+0.78 %	17.774	24.374	+37.14 %
Punto 4	6190.96	5658.07	-8.61 %	18.161	22.585	+24.36 %
Total	26094.57	24882.60	-4.64 %	76.546	99.323	+29.76 %

Durante el periodo mayo-agosto de 2019, la concentración total de PM_{2.5} en los 4 puntos de monitoreo fue de 26094.57 µg/m³, mientras que en el año 2020 fue de 24882.60 µg/m³. Esto evidencia una disminución general de 1211.97 µg/m³, equivalente a una reducción de 4.64% respecto al año 2019.

A nivel de puntos, la mayor concentración total de PM_{2.5} en 2019 se registró en el punto 2, con 7020.23 µg/m³, seguida del punto 1 con 6824.37 µg/m³. Para el año 2020, el punto 2 también presentó el mayor valor, con 6936.70 µg/m³, manteniéndose como el punto de monitoreo con mayor carga de MP fino.

Respecto a la variación por punto, el punto 1 presentó una reducción de 9.42%, el punto 4 disminuyó en 8.61% y el punto 2 tuvo una ligera reducción de 1.19%. En cambio, el punto 3 presentó un ligero incremento de 0.78%, lo que indica que fue el único punto donde el PM_{2.5} aumentó levemente entre ambos años.

En cuanto al BC, se observa un comportamiento diferente. Aunque el PM_{2.5} total disminuyó en 2020, el BC estimado aumentó de 76.546 µg/m³ en 2019 a 99.323 µg/m³ en 2020, lo que representa un incremento de 29.76%. Este aumento

se explica porque la fracción de conversión CN/PM_{2.5} fue mayor en 2020, pasando de 0.00293 en 2019 a 0.00399 en 2020.

Esto significa que, aunque en 2020 se registró una menor concentración total de PM_{2.5}, la proporción estimada de carbono negro dentro del MP fue mayor. Ambientalmente, esto puede sugerir una mayor participación relativa de fuentes asociadas a combustión incompleta, como tránsito vehicular, quema de biomasa, combustión de leña, hornos artesanales u otras fuentes emisoras de partículas carbonáceas.

Análisis por puntos

Punto 1

El punto 1 presentó una disminución de PM_{2.5} de 6824.37 µg/m³ en 2019 a 6181.65 µg/m³ en 2020, equivalente a una reducción de 9.42%. Sin embargo, el BC estimado aumentó de 20.019 µg/m³ a 24.675 µg/m³. Esto indica que, aunque la carga total de MP disminuyó, la fracción carbonácea estimada fue mayor en 2020.

Punto 2

El punto 2 fue el punto con mayor concentración en ambos años. En 2019 presentó 7020.23 µg/m³ de PM_{2.5} y en 2020 registró 6936.70 µg/m³, mostrando una reducción leve de 1.19%. No obstante, el BC aumentó de 20.593 µg/m³ a 27.689 µg/m³, lo que representa el valor más alto de carbono negro entre los 4 puntos para 2020.

Punto 3

El punto 3 presentó un comportamiento particular, ya que el PM_{2.5} aumentó ligeramente de 6059.01 µg/m³ en 2019 a 6106.18 µg/m³ en 2020, equivalente a

0.78%. Asimismo, el BC pasó de 17.774 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 24.374 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un incremento de 37.14%. Esta fue la mayor variación porcentual de BC entre los 4 puntos.

Punto 4

El punto 4 presentó una reducción de PM_{2.5} de 6190.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019 a 5658.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2020, equivalente a 8.61%. Sin embargo, el BC aumentó de 18.161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 22.585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que muestra nuevamente que la disminución de PM_{2.5} no necesariamente implicó una disminución del BC estimado.

Tabla 51

Tabla comparativa mensual de 2019 y 2020

Mes	PM2.5 total 2019	PM2.5 total 2020	Variación
Mayo	7100.92	6025.15	Disminuyó
Junio	6026.68	6785.36	Aumentó
Julio	6240.60	6416.09	Aumentó ligeramente
Agosto	6726.37	5656.01	Disminuyó

En mayo y agosto de 2020 se observa una reducción respecto a 2019, mientras que junio y julio presentaron valores superiores en 2020. Esto muestra que el comportamiento del PM_{2.5} no fue uniforme durante todo el periodo, sino que presentó variaciones mensuales posiblemente asociadas a las condiciones meteorológicas, dinámica de fuentes emisoras, tránsito local y actividades de combustión.

4.4 Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se presenta un análisis enfocado en el comportamiento de los contaminantes de BC contenidos en el MP en la atmósfera del distrito de San Jerónimo, en los 4 puntos de estudio seleccionadas de acuerdo a su cercanía con distintas fuentes de emisión

de tipo antropogénicas, las que arrojan mayores concentraciones a la atmósfera de especies carbonáceas y su repercusión importante en la salud de la población afectada.

Para esta investigación se tomaron los datos primarios de MP del CICCGA de la UNSAAC; cabe aclarar que estos resultados fueron contruidos directamente por el investigador de la presente tesis, teniendo en cuenta elementos como los requisitos normativos de los ECA del Perú (D.S. 003-2017- MINAN) basados en el protocolo de monitoreo de la calidad de aire y gestión de los datos establecidos por la Dirección General de Salud ambiental (DIGESA) y metodologías existentes, para asegurar la calidad de los datos.

El estudio identifica concentraciones anuales entre los meses de mayo a agosto del año 2019 y del mismo modo los mismos meses del año 2020. Los contaminantes atmosféricos motivo del estudio, se analizaron uno a uno para conocer sus niveles de concentración e identificar las relaciones de BC con Material Particulado PM_{2.5}, quedando demostrado durante toda la investigación que estos compuestos están fuertemente relacionados bajo condiciones de altas concentraciones, es decir que se encontró un coeficiente de relación entre ellos por ser subproductos de la combustión incompleta y demás actividades de carácter comercial e industrial en el distrito de San Jerónimo.

Dentro de la presente discusión, debemos precisar que de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, las concentraciones que registra el material particulado PM_{2.5}, entre los años 2019 - 2021 muestran valores anuales en forma ascendente y con promedios que se encuentran por encima de los valores permitidos por los ECA, vigentes en el Perú, superando los 50 µg/m³ para promedio anual, y de 100 mg/m³ para evaluaciones diarias o de 24 horas, como se observa

en los puntos de monitoreo del Cercado de San Jerónimo, evidenciándose que de los 4 puntos evaluadas, es la urbanización Constructores, quien registra los valores más altos durante los años citados, seguido del punto 2.

Para llevar a cabo la presente investigación se tuvo en cuenta factores meteorológicos relevantes como parámetros de temperatura, precipitación o lluvia, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Estos factores proporcionan una base para entender el comportamiento de la concentración y dispersión de los contaminantes atmosféricos en estudio, ya que estos pueden llegar a definir sus concentraciones y son responsables de su transformación y transporte.

Se encontró una relación entre las concentraciones de los contaminantes atmosféricos investigados con la humedad relativa, lluvias y vientos, observándose que los comportamientos de los valores de contaminación varían; pues, se evidencia que en los meses del año de julio, agosto, setiembre y octubre se presentaron los valores más altos de PM_{10} y BC.

Las mediciones realizadas en los cuatro puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo evidenciaron que las mayores concentraciones estimadas de BC se registraron en el punto próximo a la actividad ladrillera. Este resultado podría estar asociado a fuentes de combustión incompleta presentes en el área, como hornos ladrilleros, tránsito vehicular y quema de biomasa. No obstante, al no haberse realizado un inventario de fuentes ni un análisis de atribución química, esta interpretación debe asumirse como una asociación contextual y no como una identificación directa de la fuente emisora.

En la urbanización Constructores se evidenció variación temporal en las concentraciones de $PM_{2,5}$ y carbono negro estimado durante los meses evaluados. Los valores registrados no fueron constantes, observándose diferencias entre los

periodos de monitoreo. Este comportamiento puede interpretarse considerando las condiciones del entorno del punto de medición, como el tránsito vehicular, la manipulación de materiales de construcción y la presencia de actividades urbanas cercanas. No obstante, debido a que la investigación no realizó un inventario de fuentes ni un análisis de atribución química, los resultados se limitan a describir la variación observada en las concentraciones registradas, sin establecer causalidad directa con una fuente específica.

Los resultados evidencian variaciones en las concentraciones estimadas de BC entre los puntos de monitoreo. Estas variaciones pueden interpretarse considerando las condiciones locales de dispersión atmosférica, como la velocidad del viento y la cercanía a fuentes de combustión incompleta. Sin embargo, al no haberse evaluado carbono orgánico ni realizado una relación estadística específica con variables meteorológicas, el análisis se limita al comportamiento del BC estimado a partir del $PM_{2.5}$.

Los resultados evidencian variaciones en las concentraciones estimadas de BC entre los puntos de monitoreo. Estas variaciones pueden interpretarse considerando las condiciones locales de dispersión atmosférica, como la velocidad del viento y la cercanía a fuentes de combustión incompleta. Sin embargo, al no haberse evaluado BC ni realizado una relación estadística específica con variables meteorológicas, el análisis se limita al comportamiento del BC estimado a partir del $PM_{2.5}$.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Primera. En respuesta al objetivo general, se concluye que las emisiones de BC a partir del material particulado $PM_{2.5}$ fueron evaluadas en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco, durante los meses de mayo-agosto de 2019-2020. Los resultados evidenciaron presencia de BC en el MP fino, alcanzando una concentración total estimada de **76.546 $\mu g/m^3$ en 2019** y **99.323 $\mu g/m^3$ en 2020**, lo que demuestra un incremento de BC en el segundo periodo evaluado, a pesar de que el $PM_{2.5}$ total fue ligeramente menor en 2020.

Segunda. En respuesta al primer objetivo específico, se determinó que las concentraciones de material particulado $PM_{2.5}$ estuvieron presentes en los 4 puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo. En el año **2019**, la concentración total de $PM_{2.5}$ fue de 26 094.58 $\mu g/m^3$, siendo el punto 2 el de mayor concentración con 7 020.24 $\mu g/m^3$. En el año **2020**, la concentración total fue de 24 882.60 $\mu g/m^3$, manteniéndose el punto 2 como el área de mayor concentración con 6936.70 $\mu g/m^3$. Por tanto, se concluye que el punto 2 presentó la mayor carga de MP fino durante ambos periodos de evaluación.

Tercera. En respuesta al segundo objetivo específico, se estimó la concentración de BC a partir del $PM_{2.5}$ mediante el método de absorción de luz por partículas. En el año **2019**, el BC estimado fue de 76.546 $\mu g/m^3$, con una fracción másica de 0.00293 (0.293%) del $PM_{2.5}$. Para el año **2020**, el BC estimado fue de 99.323 $\mu g/m^3$, con una fracción másica de 0.00399 (0.399%). Estos resultados permiten concluir que la participación relativa del carbono negro dentro del material particulado fino fue mayor en el año 2020.

Cuarta. En respuesta al tercer objetivo específico, se analizó la relación proporcional entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ y los valores estimados de BC, evidenciándose una relación directa entre ambas variables. Esto significa que, a mayor concentración de $PM_{2.5}$, también se incrementan los valores estimados de BC. Asimismo, el punto 2 registró los mayores valores estimados de BC en ambos años: $20.593 \mu g/m^3$ en 2019 y $27.689 \mu g/m^3$ en 2020, lo que confirma que este punto presentó mayor aporte relativo de carbono negro asociado al MP fino

Quinta. De manera complementaria, se concluye que las concentraciones de $PM_{2.5}$ y BC registradas en San Jerónimo se relacionan con fuentes locales de emisión, principalmente el tránsito vehicular, hornos de tejas y ladrillos, quema de biomasa, polvo resuspendido y actividades urbanas. Por ello, los resultados constituyen una base técnica para fortalecer el monitoreo de calidad del aire y proponer medidas de prevención y control de emisiones atmosféricas en los puntos con mayor concentración.

RECOMENDACIONES

Primera. En relación con la conclusión general, se recomienda a la municipalidad distrital de San Jerónimo, municipalidad provincial del Cusco y entidades ambientales competentes fortalecer el monitoreo periódico de calidad del aire, incorporando la evaluación de material particulado fino $PM_{2.5}$ y BC. Esto permitirá contar con información actualizada sobre el comportamiento de estos contaminantes, considerando que en el año 2020 se evidenció un incremento de BC respecto al año 2019, a pesar de que la concentración total de $PM_{2.5}$ fue ligeramente menor.

Segunda. En relación con la concentración de $PM_{2.5}$ registrada en los puntos de monitoreo, se recomienda priorizar acciones de vigilancia y control ambiental en el punto 2, debido a que presentó las mayores concentraciones de MP fino durante

los años 2019 y 2020. Para ello, se sugiere identificar las fuentes de emisión cercanas, tales como tránsito vehicular, vías con polvo resuspendido, actividades urbanas, hornos de tejas y ladrillos u otras fuentes locales que puedan contribuir al incremento de $PM_{2.5}$.

Tercera. En relación con la estimación de BC mediante el método de absorción de luz por partículas, se recomienda estandarizar los procedimientos de medición y cálculo, precisando las unidades de medida, el volumen de aire muestreado, el uso de filtros blancos, la calibración de equipos y el control de calidad de los datos. Esto permitirá obtener resultados más confiables y comparables en futuras investigaciones sobre BC contenido en $PM_{2.5}$.

Cuarta. En relación con la asociación proporcional entre $PM_{2.5}$ y BC, se recomienda que futuras investigaciones incorporen análisis estadísticos de relación y regresión entre ambas variables, utilizando una mayor cantidad de datos por punto de monitoreo y por periodo de evaluación. Esto permitirá determinar con mayor precisión si el incremento de $PM_{2.5}$ se relaciona significativamente con el aumento de BC en el distrito de San Jerónimo.

Quinta. En relación con las fuentes locales de emisión identificadas, se recomienda implementar medidas de prevención y control orientadas principalmente al tránsito vehicular, hornos de tejas y ladrillos, quema de biomasa, polvo resuspendido y actividades urbanas. Entre las medidas prioritarias se propone reforzar las inspecciones vehiculares, promover el mantenimiento de unidades de transporte, controlar la quema al aire libre, mejorar la limpieza y mantenimiento de vías, fiscalizar actividades emisoras y desarrollar campañas de sensibilización ambiental dirigidas a la población local.

REFERENCIAS

- Andreae, M. And Gelencsér, A. (2006). Black carbon or brown carbon? The nature of light absorbing carbonaceous aerosols [¿Carbono negro o carbon marron? la naturaleza de los aerosols carbonáceos que absorben la luz]. *Atmospheric Chemistry and Physics*
- Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D., Querol, X., y Alastuey, A. (2003). Anthropogenic and natural influence on the PM₁₀ and PM_{2.5} aerosols in Madrid (Spain). *Analysis of high concentration episodes. Environmental Pollution*.
- Astorga, O. (2009). La crisis del agua se oculta bajo las faldas. *Nuevo Excélsior*.
- Bahner, M., Weitz, K., Zapata, A., DeAngelo, B. (2007). Use of black carbon and organic carbon inventories for projections and mitigation analysis [Uso de inventarios de carbono negro y carbono orgánico para proyecciones y análisis de mitigación]. *Technical paper. RTI International and U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division*.
- Baron, R. E. Montgomery, W. D. Tuladhar, S. D. (2009) An analysis of black carbon mitigation as a response to climate change [Un análisis de la mitigación del carbono negro como respuesta al cambio climático]. *Copenhagen Consensus Center*.
- Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D., Aboukais, A., & Pirouz, S. (2007). Ambient Particulate Matter (PM_{2.5}): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A₅₄₉) [Material particulado ambiental (PM_{2.5}): caracterización fisicoquímica y activación metabólica de la fracción

- orgánica en células epiteliales pulmonares humanas (A₅₄₉)). *Environmental Research* 105(2), 212-223.
- Bond T., Doherty S., Fahey D., Forster P. & Berntsen T. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment [Delimitando el papel del carbon negro en el Sistema climático: una evaluación científica]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.
- Borm, P. (2008). Drug delivery and nanoparticles: applications and hazards [Administración de fármacos y nanopartículas: aplicaciones y riesgos]. *International Journal of Nanomedicine*.
- Brimblecombe, P. (2003) The effects of air pollution on the build environment [Los efectos de la contaminación atmosférica en el entorno construido]. *Editorial Imperial College Press*.
- Bromberg, P. A. & Korenb, H. S. (1995). Ozone induced respiratory dysfunction and disease [Disfunción respiratoria y enfermedad inducidas por ozono]. *ScienceDirect, Elsevier* 82(), 307-316.
- Caminos, J., Enrique, C., Ghirardi, R., Graizaro, A., Rusillo, S., Pacheco, C. (2007). *Calidad de aire en la ciudad de Santa Fe*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS]. (2005) <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/fuente-informacion/centro-panamericano-ingenieria-sanitaria-ciencias-ambiente>
- Cuadrat J., Pita M. (1997). *Climatología*. Ed. Catedra S.A. Madrid.
- Dockery, D., Pope, C., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., Ferris, B., and Speizer, F. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities [Una asociación entre la contaminación del aire y la mortalidad en seis ciudades de Estados Unidos]. *New England Journal of Medicine*.
- Echarri, L. (2007). *Contaminación de la Atmósfera*.

- Fang, G., Chang, C., Chu, C., Wu, Y., Fu, P., Yang, I., y Chen, M. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, P_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung [Caracterización de partículas y elementos metálicos de TSP, PM_{2.5} y aerosoles PM_{2.5-10} en un sitio de muestreo agrícola en Taichung, Taiwán]. *ScienceDirect, Elsevier, The Science of the Total Environment*, 308(1-3), 157-166.
- Fernández, F. (1995) *Manual de climatología aplicada: Clima, medio ambiente y planificación*. Edit. Síntesis, Madrid.
- Flores, J. (1997). *Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios*.
- Fujita, E.; Campbell, D.; Arnott, W. & Chow, J. (2007). Evaluations of the chemical mass balance method for determining contributions of gasoline and diésel exhaust to ambient carbonaceous aerosols [Evaluaciones del método de balance de masas químicas para determinar las contribuciones de los gases de escape de la gasolina y el diésel a los aerosoles carbonáceos ambientales]. *Journal of the Air & Waste Management Association*.
- García, F., Agudelo, R., y Jiménez, K. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*.
- Grieshop, A., Reynolds, C., Kandlikar, M., & Dowlatabadi, H. (2009). A black carbon mitigation wedge [Un bloque de mitigación de carbono negro]. *Nature Geoscience*.
- Ho, K., Lee, S., Chan, C., Yu, J., Chow, J., y Yao, X.H. (2003). Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong [Caracterización de especies químicas en aerosols PM_{2.5} y PM₁₀ en Hong Kong]. *ScienceDirect, Elsevier. Atmospheric Environment*. 37(1), 31-39.

- Instituto Nacional de Ecología [INE]. (2010). Manual 1. *Principios de Medición de la Calidad del Aire*. México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). Climate change 2007, Mitigation of climate change [Cambio climático 2007, mitigación del cambio climático]. *Cambridge University Press*.
- Internacional Council on Clean Transportation] [ICCT]. (2009). El conocimiento científico actual sobre los impactos del carbono negro en el cambio climático y las estrategias recomendadas para reducir las emisiones. Una síntesis para la toma de decisiones. Autor. Manuscrito.
- Jacobson, M. (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols [Fuerte calentamiento radiactivo debido al estado de mezcla del carbón negro en los aerosoles atmosféricos]. *Nature*.
- Jansen, K.; Larson, T.; Koenig, J.; Mar, T.; Fields, C.; Stewart, J. & Lippmann, M. (2005). Associations between health effects and particulate matter and black carbon in subjects with respiratory disease [Relación entre los efectos en la salud y las partículas en suspensión y el carbono negro en sujetos con enfermedades respiratorias]. *Researchgate 113(12)*, 1741-1746.
- Jiang, M., Marr, L., Dunlea, E. J., Herndon, S. C., Jayne, J., Kolb, C., Knighton, W., Rogers, T., Zavala, M., Molina, L. And Molina, M. (2005). Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons and other pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico City [Emisiones de carbono negro, hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros contaminantes de una flota vehicular medidas por un laboratorio móvil en la ciudad de México]. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
- Kassianov, E.; Barnard, J. & Ackerman, T. (2005). Retrieval of aerosol microphysical properties using Surface multifilter rotating shadowband

- radiometer (MFRSR) data: modeling and observations [Recuperación de las propiedades microfísicas de los aerosoles mediante datos del radiómetro de sombra rotatoria multifiltro (MFRSR) de superficie: modelado y observaciones]. *Advancing Earth and Space Sciences*.
- López, G. (2009). *El dióxido de nitrógeno como contaminante*. El Cid Editor.
- Marley, N., Gaffney, J., Tackett, M., Sturchio, N., Heraty, L., Martinez, N., Hardy, K., Marchany-Rivera, A., Guilderson, T., MacMillan, A., Steelman, K. (2009). The impact of biogenic carbon sources on aerosol absorption in Mexico City [El impacto de las fuentes de carbono biogénico en la absorción de aerosoles en la Ciudad de México]. *Atmospheric Chemistry and Physics*
- McGranahan, G., & Murray, F. (2003). Air pollution and health in rapidly developing countries [Contaminación atmosférica y salud en países en rápido desarrollo]. *London: Earthscan*.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2004). *OMS y Organización Panamericana de la Salud, guías para la calidad del aire*. Lima.
- Páramo, J. V. H. (2009). *Estrategia de control de carbono negro en la Ciudad de México. Taller Internacional sobre Carbono Negro en América Latina*. Ciudad de México, México
- Quijano, A., Quijano, M., y Henao, J. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM_{2.5} en Pamplona-Norte de Santander- Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.
- Quijano, A., y Orozco, J. (2005). Monitoreo de material particulado-fracción respirable (PM_{2.5}) en Pamplona (Colombia). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.

- Ramanathan, V. & Carmichael, G. (2008) Global and regional climate changes due to black carbon. [Cambios climáticos globales y regionales debidos al carbono negro]. *Nature Geoscience*.
- Reist, P.C. (1984) Introduction to Aerosol Science [Introducción a la ciencia de los aerosoles]. Macmillan, London
- Roberts A. (2009). *Manual de control de la calidad del aire*. México, Tomo I
- SWISSCONTACT (2004). *Manual de gestión de la calidad del aire*.
- Toro, M., Ramírez, J., Quiceno, R., y Zuluaga, C. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR. Grupo de Investigaciones Ambientales - GIA. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Acodal.
- Viana, M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias*. Universidad de Barcelona.
- Warneck, P. (1988). Chemistry of the natural atmosphere [Química de la atmósfera natural]. International Geophysics Series. Vol. 41. *Academy Press*.
- Watson, J., & Chow, J. (2000). Reconciling urban fugitive dust emissions inventory and ambient source contribution estimates: summary of current knowledge and needed research [Reconciliación de los inventarios de emisiones de polvo fugitivo urbano y las estimaciones de contribución de fuentes ambientales: resumen del conocimiento actual e investigación necesaria]. *Desert Research Institute. Energy and Environmental Engineering Center*.

Anexo 1. Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DE EMISIONES DE CARBONO NEGRO A PARTIR DE MATERIAL PARTICULADO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO

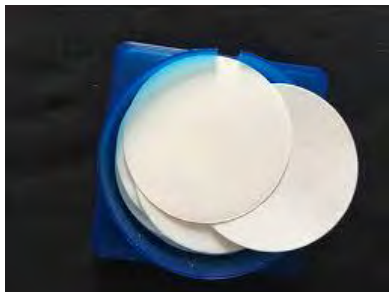
Tabla 52

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Metodología
¿Cuál es la concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino PM _{2.5} en el distrito de San Jerónimo, Cusco?	Evaluar la concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino PM _{2.5} en el distrito de San Jerónimo, Cusco	La concentración de Carbono Negro (BC) estimada a partir del material particulado fino PM _{2.5} presenta variaciones entre los puntos de monitoreo y periodos evaluados en el distrito de San Jerónimo, Cusco	Variable independiente: Concentración de material particulado PM_{2.5}	- Tipo: explorativo, descriptivo - Nivel: aplicado - Diseño: no experimental, transversal. - Enfoque: cuantitativo
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Población y muestra
PE 1: ¿Cuál es la concentración de material particulado fino PM _{2.5} en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco?	OE 1: Determinar la concentración de material particulado fino PM _{2.5} en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco	HE 1: La concentración de material particulado fino PM _{2.5} varía entre los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco	Variable dependiente: Concentración de carbono negro (BC)	Población: Conjunto de registros de material particulado
PE 2: ¿Cuál es la distribución espacial del Carbono Negro (BC) estimado en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco?	OE 2: Estimar la concentración y distribución espacial del Carbono Negro (BC) mediante el principio de absorción de luz por partículas en los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco	HE 2: La concentración estimada de Carbono Negro (BC) presenta diferencias espaciales entre los puntos de monitoreo del distrito de San Jerónimo, Cusco		Muestra: Registros de material particulado de mayo-agosto de 2019-2020
PE 3: ¿Qué relación existe entre la concentración de material particulado fino PM _{2.5} y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco?	OE 3: Analizar la relación entre la concentración de material particulado fino PM _{2.5} y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco	HE 3: Existe relación directa entre la concentración de material particulado fino PM _{2.5} y la concentración estimada de Carbono Negro (BC) en el distrito de San Jerónimo, Cusco		Muestreo: Nno probabilístico, por conveniencia e intencional

Anexo 2. Instrumentos de recolección de información

1. Filtro de teflón con su respectivo protector



2. Filtros con muestras de PM₁₀ de cada punto monitoreada



3. Análisis manual de filtros de PM₁₀ y PM_{2.5} (agua de lluvia)



4. Sensor PURPLE AIR



Anexo 3. Reporte de datos de material particulado

created_at	,>=0.3um/	dl,>=0.5um/dl	,>1.0um	/dl,>=	2.5um	/dl,>	=5.0u
27/12/2019	18:30:00	UTC,1287.20,	362.07,	46.86,	4.36,	1.80,	0.61,
27/12/2019	18:40:00	UTC,1458.24,	414.45,	44.28,	3.21,	0.79,	0.19,
27/12/2019	18:50:00	UTC,1352.59,	380.63,	39.53,	2.74,	0.85,	0.37,
27/12/2019	19:00:00	UTC,1357.67,	377.92,	37.28,	3.62,	0.92,	0.36,
27/12/2019	19:10:00	UTC,1330.97,	370.75,	35.94,	2.82,	0.53,	0.36,
27/12/2019	19:20:00	UTC,1298.08,	358.46,	39.14,	3.47,	0.54,	0.28,
27/12/2019	19:30:00	UTC,1226.01,	342.29,	35.03,	3.22,	0.77,	0.25,
27/12/2019	19:40:00	UTC,1255.62,	348.25,	34.76,	3.19,	0.27,	0.08,
27/12/2019	19:50:00	UTC,1144.06,	321.07,	34.00,	3.29,	0.37,	0.17,
27/12/2019	20:00:00	UTC,1075.42,	302.18,	31.84,	2.46,	0.85,	0.26,
27/12/2019	20:10:00	UTC,1045.53,	293.11,	27.05,	2.35,	0.43,	0.27,
27/12/2019	20:20:00	UTC,959.09,2	69.62,2	6.81,3	.84,1	.40,0	.27,4
27/12/2019	20:30:00	UTC,908.86,2	51.72,3	0.22,3	.57,1	.05,0	.61,3
27/12/2019	20:40:00	UTC,925.10,2	57.17,2	4.79,2	.96,0	.56,0	.10,3
27/12/2019	20:50:00	UTC,4285.80,	1249.34	,244.1	8.31,	16.7,	59.1,
27/12/2019	21:00:00	UTC,2111.54,	599.90,	77.50,	5.52,	1.26,	0.66,
27/12/2019	21:10:00	UTC,1276.00,	362.06,	41.95,	4.50,	1.21,	0.32,
27/12/2019	21:20:00	UTC,1014.75,	277.70,	23.40,	2.39,	0.58,	0.00,
27/12/2019	21:30:00	UTC,1082.97,	295.66,	28.74,	2.84,	0.67,	0.29,
27/12/2019	21:40:00	UTC,1120.12,	307.78,	28.23,	2.32,	0.69,	0.33,
27/12/2019	21:50:00	UTC,1030.82,	286.07,	28.76,	3.26,	0.86,	0.35,
27/12/2019	22:00:00	UTC,1145.23,	316.21,	26.99,	2.13,	0.61,	0.35,
27/12/2019	22:10:00	UTC,1191.96,	326.57,	31.46,	2.78,	0.86,	0.58,
27/12/2019	22:20:00	UTC,1340.58,	369.53,	30.85,	2.90,	0.89,	0.29,
27/12/2019	22:30:00	UTC,1269.31,	351.86,	28.87,	2.67,	0.70,	0.07,
27/12/2019	22:40:00	UTC,1183.20,	329.37,	31.24,	2.58,	0.51,	0.00,
27/12/2019	22:50:00	UTC,1191.14,	327.80,	27.61,	2.67,	0.52,	0.18,
27/12/2019	23:00:00	UTC,1262.31,	344.89,	30.63,	3.85,	0.89,	0.17,
27/12/2019	23:10:00	UTC,1279.55,	354.16,	31.12,	1.88,	0.28,	0.00,
27/12/2019	23:20:00	UTC,1344.26,	371.97,	37.05,	2.95,	0.64,	0.25,
27/12/2019	23:30:00	UTC,1639.29,	447.45,	38.31,	3.91,	1.07,	0.23,
27/12/2019	23:40:00	UTC,1559.61,	431.60,	35.78,	3.25,	0.52,	0.16,
27/12/2019	23:50:00	UTC,1398.56,	385.37,	35.63,	3.76,	0.74,	0.39,
28/12/2019	00:00:00	UTC,1793.35,	497.47,	49.54,	4.35,	0.99,	0.26,
28/12/2019	00:10:00	UTC,2563.59,	715.07,	72.40,	6.09,	1.18,	0.42,
28/12/2019	00:20:00	UTC,2668.68,	741.95,	84.46,	7.79,	0.92,	0.25,
28/12/2019	00:30:00	UTC,2622.29,	738.77,	90.87,	6.01,	0.80,	0.34,
28/12/2019	00:40:00	UTC,2541.64,	713.80,	78.15,	6.50,	1.47,	0.43,
28/12/2019	00:50:00	UTC,3062.83,	868.51,	109.04	,8.15	,1.79	,0.81
28/12/2019	01:00:00	UTC,3030.29,	856.51,	114.8	,7.76	,1.06	,0.29
28/12/2019	01:10:00	UTC,3019.95,	851.68,	110.75	,8.95	,2.66	,0.66
28/12/2019	01:20:00	UTC,2891.86,	812.96,	102.58	,8.16	,1.86	,0.50
28/12/2019	01:30:00	UTC,3224.38,	915.42,	124.19	,9.15	,1.86	,0.65
28/12/2019	01:40:00	UTC,3293.78,	939.61,	136.93	,10.8	2,1.5	7,0.6
28/12/2019	01:50:00	UTC,3194.87,	907.57,	132.19	,12.8	9,2.7	8,0.7
28/12/2019	02:00:00	UTC,3844.50,	1094.25	,168.0	5,15.	08,3.	04,1.
28/12/2019	02:10:00	UTC,5312.90,	1523.54	,257.2	2,27.	36,6.	15,2.
28/12/2019	02:20:00	UTC,11112.43	,3189.6	4,595.00	62,75	.51,1	6,69,
28/12/2019	02:30:00	UTC,10964.64	,3148.7	4,586.00	59,77	.24,1	5,92,
28/12/2019	02:40:00	UTC,9789.32,	2817.68	,524.9	8,68.	32,14	.30,5
28/12/2019	02:50:00	UTC,8338.42,	2386.77	,441.8	1,53.	52,10	.75,3
28/12/2019	03:00:00	UTC,6938.27,	1997.2	,364.3	7,44.	03,9.	51,3.
28/12/2019	03:10:00	UTC,5937.92,	1699.51	,310.5	5,37.	51,7.	70,2.
28/12/2019	03:20:00	UTC,4933.60,	1417.15	,262.4	0,29.	82,6.	38,2.
28/12/2019	03:30:00	UTC,3967.54,	1136.18	,202.6	5,25.	36,6.	59,2.
28/12/2019	03:40:00	UTC,3441.27,	980.13,	169.68	,19.4	7,3.6	4,1.1
28/12/2019	03:50:00	UTC,2891.85,	828.59,	139.48	,15.8	8,3.8	8,0.9
28/12/2019	04:00:00	UTC,3318.49,	943.34,	148.47	,13.9	1,3.2	4,1.3
28/12/2019	04:10:00	UTC,3791.54,	1075.97	,162.2	4,15.	71,3.	18,1.
28/12/2019	04:20:00	UTC,3514.86,	997.72,	145.61	,12.2	0,2.3	9,0.8
28/12/2019	04:30:00	UTC,3203.82,	912.16,	131.79	,12.5	5,3.5	4,1.2

28/12/2019	04:40:00	UTC,2936.56,	834.78,	119.35	,10.4	7,1.6	6,0.4
28/12/2019	04:50:00	UTC,2618.37,	740.78,	98.56,	8.22,	1.99,	0.50,
28/12/2019	05:00:00	UTC,2455.86,	695.09,	93.75,	8.76,	2.17,	0.58,
28/12/2019	05:10:00	UTC,2227.98,	630.41,	86.82,	7.08,	1.82,	0.52,
28/12/2019	05:20:00	UTC,2026.83,	574.88,	73.08,	6.26,	1.37,	0.75,
28/12/2019	05:30:00	UTC,1777.50,	501.28,	64.54,	3.77,	0.96,	0.39,
28/12/2019	05:40:00	UTC,1680.94,	477.10,	56.49,	5.42,	0.70,	0.35,
28/12/2019	05:50:00	UTC,1903.99,	543.41,	78.14,	7.55,	0.92,	0.49,
28/12/2019	06:00:00	UTC,1817.56,	521.68,	78.06,	9.02,	1.71,	0.70,
28/12/2019	06:10:00	UTC,1655.17,	472.22,	70.35,	7.09,	1.22,	0.77,
28/12/2019	06:20:00	UTC,1579.36,	447.33,	64.22,	5.88,	1.10,	0.56,
28/12/2019	06:30:00	UTC,1430.32,	405.31,	51.01,	3.80,	0.69,	0.26,
28/12/2019	06:40:00	UTC,1343.46,	381.48,	46.52,	4.17,	0.96,	0.14,
28/12/2019	06:50:00	UTC,1353.35,	379.22,	46.68,	3.60,	0.50,	0.16,
28/12/2019	07:00:00	UTC,1422.91,	402.78,	52.60,	4.31,	0.90,	0.33,
28/12/2019	07:10:00	UTC,1566.22,	444.61,	53.62,	3.66,	0.97,	0.19,
28/12/2019	07:20:00	UTC,1538.91,	430.90,	53.52,	4.69,	1.33,	0.08,
28/12/2019	07:30:00	UTC,1547.28,	434.02,	49.09,	4.36,	1.21,	0.36,
28/12/2019	07:40:00	UTC,1632.68,	464.87,	61.89,	5.55,	1.49,	0.30,
28/12/2019	07:50:00	UTC,1791.53,	508.48,	60.81,	4.28,	0.74,	0.47,
28/12/2019	08:00:00	UTC,1593.77,	447.43,	54.13,	5.96,	0.96,	0.27,
28/12/2019	08:10:00	UTC,1386.91,	389.41,	45.97,	3.26,	0.81,	0.17,
28/12/2019	08:20:00	UTC,1284.50,	365.56,	46.53,	3.70,	0.46,	0.09,
28/12/2019	08:30:00	UTC,1114.70,	314.99,	37.03,	3.35,	0.65,	0.24,
28/12/2019	08:40:00	UTC,993.81,2	81.78,4	0.09,3	.08,0	.30,0	.12,4
28/12/2019	08:50:00	UTC,914.23,2	58.02,3	3.08,2	.39,0	.51,0	.09,4
28/12/2019	09:00:00	UTC,853.90,2	42.82,3	1.80,3	.06,0	.69,0	.36,3
28/12/2019	09:10:00	UTC,837.22,2	36.48,3	1.40,2	.88,0	.53,0	.09,3
28/12/2019	09:20:00	UTC,795.95,2	26.00,2	5.35,2	.19,0	.55,0	.09,3
28/12/2019	09:30:00	UTC,724.64,2	07.42,2	4.58,1	.25,0	.20,0	.00,3
28/12/2019	09:40:00	UTC,786.82,2	22.67,2	6.36,1	.71,0	.43,0	.17,3
28/12/2019	09:50:00	UTC,754.03,2	15.08,2	6.08,1	.99,0	.46,0	.00,3
28/12/2019	10:00:00	UTC,739.30,2	08.54,2	4.16,1	.60,0	.33,0	.17,3
28/12/2019	10:10:00	UTC,740.15,2	08.35,2	5.98,1	.92,0	.10,0	.10,3
28/12/2019	10:20:00	UTC,760.30,2	18.62,2	5.87,2	.27,0	.28,0	.18,3
28/12/2019	10:30:00	UTC,723.74,2	02.69,2	1.28,1	.40,0	.27,0	.17,3
28/12/2019	10:40:00	UTC,731.42,2	05.92,2	3.27,1	.31,0	.00,0	.00,3
28/12/2019	10:50:00	UTC,752.36,2	07.25,2	3.25,1	.69,0	.27,0	.18,2
28/12/2019	11:00:00	UTC,706.32,1	95.67,2	3.59,1	.69,0	.33,0	.00,2
28/12/2019	11:10:00	UTC,801.01,2	22.85,2	2.43,1	.18,0	.31,0	.20,3
28/12/2019	11:20:00	UTC,983.88,2	73.16,3	2.52,3	.28,0	.95,0	.42,4
28/12/2019	11:30:00	UTC,1435.53,	402.60,	46.84,	3.64,	0.42,	0.09,
28/12/2019	11:40:00	UTC,2323.05,	660.47,	78.22,	5.13,	0.82,	0.50,
28/12/2019	11:50:00	UTC,2333.28,	665.59,	81.93,	5.14,	1.01,	0.51,
28/12/2019	12:00:00	UTC,2079.71,	588.26,	72.40,	5.10,	1.30,	0.32,
28/12/2019	12:10:00	UTC,2067.05,	581.95,	72.51,	4.90,	0.93,	0.00,
28/12/2019	12:20:00	UTC,2174.23,	616.76,	87.48,	6.50,	0.98,	0.31,
28/12/2019	12:30:00	UTC,2131.45,	606.04,	77.86,	5.40,	1.32,	0.35,
28/12/2019	12:40:00	UTC,1952.59,	552.74,	73.00,	5.61,	1.40,	0.39,
28/12/2019	12:50:00	UTC,1809.43,	511.73,	64.51,	4.01,	0.59,	0.06,
28/12/2019	13:00:00	UTC,1569.52,	445.55,	62.57,	5.55,	1.03,	0.40,
28/12/2019	13:10:00	UTC,1463.41,	410.47,	51.91,	4.80,	1.07,	0.17,
28/12/2019	13:20:00	UTC,1508.26,	428.31,	51.50,	4.09,	0.57,	0.18,
28/12/2019	13:30:00	UTC,1495.08,	426.26,	48.26,	4.25,	0.51,	0.19,
28/12/2019	13:40:00	UTC,1484.54,	422.56,	56.37,	4.62,	1.00,	0.57,
28/12/2019	13:50:00	UTC,1579.28,	445.67,	54.86,	6.49,	1.96,	0.75,
28/12/2019	14:00:00	UTC,1471.05,	419.15,	59.32,	6.99,	2.23,	0.68,
28/12/2019	14:10:00	UTC,1354.09,	383.32,	50.77,	4.63,	1.31,	0.45,
28/12/2019	14:20:00	UTC,1377.72,	387.71,	49.12,	4.97,	1.29,	0.41,
28/12/2019	14:30:00	UTC,1439.13,	404.93,	52.90,	4.85,	1.04,	0.26,
28/12/2019	14:40:00	UTC,1363.35,	380.59,	44.62,	3.90,	0.64,	0.24,
28/12/2019	14:50:00	UTC,1392.96,	389.06,	46.57,	4.55,	0.95,	0.65,
28/12/2019	15:00:00	UTC,1376.03,	391.90,	50.33,	4.62,	0.98,	0.35,
28/12/2019	15:10:00	UTC,1369.62,	386.47,	52.58,	4.70,	1.08,	0.51,
28/12/2019	15:20:00	UTC,1315.36,	369.61,	46.33,	4.84,	1.31,	0.54,
28/12/2019	15:30:00	UTC,1272.69,	358.67,	42.60,	3.59,	0.84,	0.26,
28/12/2019	15:40:00	UTC,1378.77,	389.73,	45.46,	3.51,	1.25,	0.57,

28/12/2019	15:50:00	UTC,1421.52,	402.84,	48.29,	2.65,	0.73,	0.08,
28/12/2019	16:00:00	UTC,1505.13,	429.09,	50.99,	4.67,	0.71,	0.20,
28/12/2019	16:10:00	UTC,1512.01,	425.65,	49.13,	3.88,	0.80,	0.26,
28/12/2019	16:20:00	UTC,1666.65,	469.45,	62.14,	4.87,	1.36,	0.40,
28/12/2019	16:30:00	UTC,1906.72,	536.04,	64.00,	4.74,	1.25,	0.32,
28/12/2019	16:40:00	UTC,1767.67,	503.40,	63.74,	3.97,	0.88,	0.17,
28/12/2019	16:50:00	UTC,1791.19,	512.45,	66.85,	4.00,	0.81,	0.34,
28/12/2019	17:00:00	UTC,1835.85,	519.66,	67.64,	5.55,	0.70,	0.11,
28/12/2019	17:10:00	UTC,2368.74,	681.08,	97.61,	6.30,	0.97,	0.31,
28/12/2019	17:20:00	UTC,2794.02,	800.46,	119.24	,6.26	,0.96	,0.23
28/12/2019	17:30:00	UTC,2536.06,	728.46,	108.6	,7.23	,1.86	,0.83
28/12/2019	17:40:00	UTC,2272.23,	647.30,	98.95,	5.96,	0.88,	0.09,
28/12/2019	17:50:00	UTC,2047.53,	591.78,	91.13,	5.04,	1.08,	0.38,
28/12/2019	18:00:00	UTC,1971.19,	567.35,	91.26,	5.17,	1.12,	0.13,
28/12/2019	18:10:00	UTC,2662.44,	767.46,	143.6	,11.5	7,2.4	5,0.7
28/12/2019	18:20:00	UTC,2902.38,	831.91,	155.9	,15.8	2,3.7	2,1.2
28/12/2019	18:30:00	UTC,2840.31,	816.70,	141.37	,11.6	3,2.4	0,0.6
28/12/2019	18:40:00	UTC,2407.23,	698.04,	123.98	,10.6	3,2.4	7,0.7
28/12/2019	18:50:00	UTC,1997.05,	573.52,	92.02,	6.92,	1.32,	0.31,
28/12/2019	19:00:00	UTC,1858.64,	536.18,	90.35,	7.37,	1.28,	0.40,
28/12/2019	19:10:00	UTC,1716.97,	494.00,	79.24,	5.31,	0.60,	0.00,
28/12/2019	19:20:00	UTC,1794.39,	513.14,	81.00,	6.92,	0.60,	0.18,
28/12/2019	19:30:00	UTC,1669.45,	480.06,	72.66,	6.31,	0.86,	0.33,
28/12/2019	19:40:00	UTC,1473.87,	423.32,	73.75,	5.99,	0.95,	0.32,
28/12/2019	19:50:00	UTC,1600.17,	460.44,	75.70,	6.76,	1.36,	0.54,
28/12/2019	20:00:00	UTC,1705.22,	488.14,	72.21,	6.13,	1.24,	0.35,
28/12/2019	20:10:00	UTC,1696.64,	484.15,	59.05,	3.99,	0.97,	0.45,
28/12/2019	20:20:00	UTC,1571.22,	441.13,	57.36,	3.96,	1.14,	0.47,
28/12/2019	20:30:00	UTC,1531.76,	430.93,	53.08,	4.40,	0.86,	0.23,
28/12/2019	20:40:00	UTC,1618.49,	454.62,	53.75,	4.88,	1.16,	0.45,
28/12/2019	20:50:00	UTC,1541.42,	436.98,	54.49,	4.36,	0.91,	0.08,
28/12/2019	21:00:00	UTC,1454.70,	413.15,	53.31,	3.87,	0.85,	0.13,
28/12/2019	21:10:00	UTC,1409.45,	400.00,	52.22,	4.07,	0.65,	0.15,
28/12/2019	21:20:00	UTC,1334.98,	377.88,	47.43,	3.95,	0.98,	0.35,
28/12/2019	21:30:00	UTC,1371.00,	385.26,	46.23,	4.34,	1.13,	0.47,
28/12/2019	21:40:00	UTC,1439.33,	407.07,	50.47,	4.39,	0.88,	0.34,
28/12/2019	21:50:00	UTC,1366.95,	385.51,	48.34,	4.01,	0.47,	0.18,
28/12/2019	22:00:00	UTC,1306.64,	362.55,	47.84,	4.30,	1.32,	0.50,
28/12/2019	22:10:00	UTC,1220.96,	345.56,	41.92,	2.83,	0.36,	0.19,
28/12/2019	22:20:00	UTC,1109.88,	311.81,	39.36,	2.80,	0.65,	0.15,
28/12/2019	22:30:00	UTC,992.30,2	83.01,3	5.52,2	.83,0	.88,0	.26,4
28/12/2019	22:40:00	UTC,1026.42,	291.38,	35.68,	3.46,	0.90,	0.09,
28/12/2019	22:50:00	UTC,903.67,2	55.61,3	4.35,4	.12,1	.23,0	.42,4
28/12/2019	23:00:00	UTC,940.49,2	65.24,3	6.19,3	.80,0	.62,0	.17,4
28/12/2019	23:10:00	UTC,919.10,2	60.68,3	5.70,3	.72,0	.84,0	.25,4
28/12/2019	23:20:00	UTC,910.68,2	55.79,3	5.47,5	.33,1	.39,0	.77,3
28/12/2019	23:30:00	UTC,1183.39,	330.59,	44.62,	4.51,	0.93,	0.36,
28/12/2019	23:40:00	UTC,1252.84,	345.33,	38.42,	4.03,	1.18,	0.40,
28/12/2019	23:50:00	UTC,1345.22,	377.03,	41.78,	4.54,	0.97,	0.34,
29/12/2019	00:00:00	UTC,1577.89,	441.17,	52.35,	4.68,	0.98,	0.63,
29/12/2019	00:10:00	UTC,1755.54,	494.66,	59.99,	5.25,	1.35,	0.16,
29/12/2019	00:20:00	UTC,1671.39,	471.50,	54.96,	5.26,	1.47,	0.54,
29/12/2019	00:30:00	UTC,2009.55,	566.91,	67.46,	5.78,	1.73,	0.36,
29/12/2019	00:40:00	UTC,1971.15,	559.59,	63.71,	6.36,	1.41,	0.41,
29/12/2019	00:50:00	UTC,1509.36,	423.89,	50.57,	4.99,	0.65,	0.18,
29/12/2019	01:00:00	UTC,1384.61,	390.82,	45.71,	3.88,	0.52,	0.33,
29/12/2019	01:10:00	UTC,1298.88,	362.70,	43.14,	3.90,	0.91,	0.33,
29/12/2019	01:20:00	UTC,1214.77,	347.65,	39.85,	3.60,	1.08,	0.00,
29/12/2019	01:30:00	UTC,1161.50,	330.17,	37.57,	3.27,	0.99,	0.17,
29/12/2019	01:40:00	UTC,1055.42,	293.13,	36.45,	3.44,	0.69,	0.28,
29/12/2019	01:50:00	UTC,966.81,2	76.35,3	3.18,2	.73,0	.56,0	.16,4
29/12/2019	02:00:00	UTC,1019.88,	288.34,	31.77,	2.07,	0.59,	0.23,
29/12/2019	02:10:00	UTC,1703.77,	479.71,	61.40,	4.76,	0.92,	0.34,
29/12/2019	02:20:00	UTC,1895.72,	535.93,	68.62,	4.16,	0.55,	0.08,
29/12/2019	02:30:00	UTC,1865.01,	532.85,	69.78,	5.74,	1.63,	0.34,
29/12/2019	02:40:00	UTC,1866.10,	526.83,	71.32,	6.94,	1.05,	0.24,
29/12/2019	02:50:00	UTC,1855.54,	523.02,	64.74,	4.78,	0.85,	0.12,

29/12/2019	03:00:00	UTC,1810.19,	514.31,	60.92,	4.50,	1.12,	0.23,
29/12/2019	03:10:00	UTC,1695.09,	477.74,	58.29,	4.18,	0.82,	0.36,
29/12/2019	03:20:00	UTC,1621.48,	458.54,	58.76,	4.40,	0.43,	0.08,
29/12/2019	03:30:00	UTC,1639.15,	463.63,	59.79,	4.28,	1.09,	0.47,
29/12/2019	03:40:00	UTC,1495.10,	422.76,	54.74,	3.77,	0.84,	0.17,
29/12/2019	03:50:00	UTC,1347.53,	378.12,	43.97,	3.13,	0.74,	0.00,
29/12/2019	04:00:00	UTC,1246.80,	355.28,	38.81,	2.16,	0.41,	0.25,
29/12/2019	04:10:00	UTC,1210.45,	341.82,	42.93,	2.90,	0.59,	0.23,
29/12/2019	04:20:00	UTC,1219.66,	342.29,	41.32,	2.93,	0.57,	0.30,
29/12/2019	04:30:00	UTC,1103.71,	319.73,	37.74,	1.78,	0.25,	0.25,
29/12/2019	04:40:00	UTC,1014.62,	286.94,	33.46,	1.32,	0.49,	0.16,
29/12/2019	04:50:00	UTC,981.30,2	81.93,3	4.55,1	.80,0	.27,0	.10,4
29/12/2019	05:00:00	UTC,922.68,2	67.36,3	2.16,2	.62,0	.86,0	.08,4
29/12/2019	05:10:00	UTC,890.58,2	50.57,3	0.22,2	.72,0	.26,0	.00,4
29/12/2019	05:20:00	UTC,824.08,2	36.15,3	0.22,2	.88,0	.65,0	.08,3
29/12/2019	05:30:00	UTC,864.43,2	45.92,2	7.72,2	.34,0	.58,0	.08,4
29/12/2019	05:40:00	UTC,845.13,2	40.52,2	9.24,2	.87,0	.53,0	.09,3
29/12/2019	05:50:00	UTC,833.11,2	35.25,2	6.80,1	.20,0	.23,0	.08,3
29/12/2019	06:00:00	UTC,831.09,2	36.11,3	0.24,2	.15,0	.14,0	.00,3
29/12/2019	06:10:00	UTC,865.51,2	42.19,3	0.29,1	.91,0	.18,0	.00,4
29/12/2019	06:20:00	UTC,928.33,2	64.52,3	3.36,2	.11,0	.33,0	.17,4
29/12/2019	06:30:00	UTC,933.60,2	66.10,3	4.61,3	.17,1	.00,0	.52,4
29/12/2019	06:40:00	UTC,1006.74,	286.09,	41.78,	3.54,	0.61,	0.11,
29/12/2019	06:50:00	UTC,1024.88,	298.21,	39.03,	2.57,	0.74,	0.10,
29/12/2019	07:00:00	UTC,1047.22,	302.84,	41.74,	2.33,	0.32,	0.08,
29/12/2019	07:10:00	UTC,1048.13,	300.90,	42.37,	2.53,	0.63,	0.32,
29/12/2019	07:20:00	UTC,969.40,2	74.05,3	7.80,2	.96,0	.73,0	.28,4
29/12/2019	07:30:00	UTC,985.15,2	85.52,3	6.02,2	.72,0	.52,0	.14,4
29/12/2019	07:40:00	UTC,965.25,2	75.63,4	0.13,3	.21,0	.52,0	.07,4
29/12/2019	07:50:00	UTC,973.53,2	76.64,3	8.26,2	.64,0	.41,0	.08,4
29/12/2019	08:00:00	UTC,977.69,2	76.86,3	4.23,2	.53,0	.32,0	.00,4
29/12/2019	08:10:00	UTC,1016.99,	291.62,	38.05,	3.26,	0.58,	0.18,
29/12/2019	08:20:00	UTC,1089.73,	309.83,	41.46,	2.66,	0.57,	0.33,
29/12/2019	08:30:00	UTC,1082.61,	310.94,	43.31,	3.17,	0.87,	0.09,
29/12/2019	08:40:00	UTC,1117.45,	322.27,	44.06,	3.09,	0.60,	0.00,
29/12/2019	08:50:00	UTC,1103.43,	312.93,	47.79,	3.04,	0.35,	0.18,
29/12/2019	09:00:00	UTC,1108.70,	319.99,	41.88,	2.66,	0.67,	0.18,
29/12/2019	09:10:00	UTC,1080.38,	307.98,	41.72,	2.99,	0.39,	0.32,
29/12/2019	09:20:00	UTC,1059.84,	299.62,	37.04,	2.64,	0.57,	0.21,
29/12/2019	09:30:00	UTC,1059.78,	301.89,	39.13,	3.25,	0.35,	0.00,
29/12/2019	09:40:00	UTC,1086.67,	310.93,	43.86,	3.43,	0.53,	0.18,
29/12/2019	09:50:00	UTC,1082.21,	311.50,	42.17,	3.47,	0.54,	0.16,
29/12/2019	10:00:00	UTC,1049.69,	297.89,	41.19,	2.80,	0.44,	0.19,
29/12/2019	10:10:00	UTC,1048.89,	299.96,	39.74,	2.94,	0.53,	0.28,
29/12/2019	10:20:00	UTC,1101.82,	311.64,	42.89,	2.91,	0.52,	0.27,
29/12/2019	10:30:00	UTC,1127.22,	317.45,	40.03,	2.86,	0.49,	0.26,
29/12/2019	10:40:00	UTC,1136.92,	323.25,	43.44,	3.49,	0.84,	0.08,
29/12/2019	10:50:00	UTC,1093.36,	313.52,	43.44,	3.28,	0.41,	0.00,
29/12/2019	11:00:00	UTC,1241.59,	357.54,	49.45,	3.86,	0.62,	0.18,
29/12/2019	11:10:00	UTC,1222.34,	348.06,	51.42,	3.84,	0.90,	0.35,
29/12/2019	11:20:00	UTC,1265.32,	359.54,	45.80,	3.20,	0.54,	0.28,
29/12/2019	11:30:00	UTC,1255.92,	361.53,	47.04,	3.42,	0.51,	0.33,
29/12/2019	11:40:00	UTC,1373.19,	389.45,	53.49,	3.85,	0.72,	0.28,
29/12/2019	11:50:00	UTC,1474.86,	419.54,	57.07,	4.71,	0.73,	0.20,
29/12/2019	12:00:00	UTC,1602.69,	455.18,	65.29,	5.39,	0.87,	0.24,
29/12/2019	12:10:00	UTC,1607.07,	455.75,	59.06,	5.51,	1.91,	0.53,
29/12/2019	12:20:00	UTC,1657.48,	473.68,	63.90,	5.46,	1.33,	0.31,
29/12/2019	12:30:00	UTC,1627.04,	460.77,	60.88,	5.39,	1.37,	0.26,
29/12/2019	12:40:00	UTC,1648.55,	467.66,	62.81,	4.40,	0.84,	0.33,
29/12/2019	12:50:00	UTC,1640.66,	467.02,	59.05,	5.09,	0.98,	0.26,
29/12/2019	13:00:00	UTC,1548.44,	438.92,	52.21,	4.31,	0.79,	0.08,
29/12/2019	13:10:00	UTC,1498.47,	428.30,	53.27,	4.03,	0.69,	0.30,
29/12/2019	13:20:00	UTC,1404.50,	395.84,	49.89,	3.42,	0.92,	0.27,
29/12/2019	13:30:00	UTC,1893.84,	541.88,	68.53,	4.31,	0.42,	0.20,
29/12/2019	13:40:00	UTC,2382.68,	678.86,	88.00,	5.22,	0.76,	0.26,
29/12/2019	13:50:00	UTC,2599.89,	732.88,	102	.6,30	.0,90	.0,14
29/12/2019	14:00:00	UTC,2611.19,	748.83,	103.44	.7,34	.0,71	.0,24

29/12/2019	14:10:00	UTC,2414.77,	681.32,	89.79,	6.24,	1.08,	0.59,
29/12/2019	14:20:00	UTC,2780.46,	792.83,	111.34	,9.38	,1.43	,0.55
29/12/2019	14:30:00	UTC,2596.63,	734.54,	103.27	,7.25	,1.17	,0.32
29/12/2019	14:40:00	UTC,2198.40,	626.25,	80.19,	4.67,	0.83,	0.43,
29/12/2019	14:50:00	UTC,1907.45,	541.06,	69.17,	4.53,	0.72,	0.35,
29/12/2019	15:00:00	UTC,1686.29,	478.02,	59.41,	4.69,	1.07,	0.53,
29/12/2019	15:10:00	UTC,1552.39,	445.56,	53.58,	3.37,	0.71,	0.29,
29/12/2019	15:20:00	UTC,1441.68,	409.22,	53.28,	3.96,	0.40,	0.11,
29/12/2019	15:30:00	UTC,1413.53,	403.55,	50.24,	3.04,	0.85,	0.27,
29/12/2019	15:40:00	UTC,1371.66,	392.95,	46.40,	3.39,	0.78,	0.29,
29/12/2019	15:50:00	UTC,1307.44,	374.21,	48.79,	3.20,	0.53,	0.18,
29/12/2019	16:00:00	UTC,1245.50,	355.42,	46.43,	3.37,	0.97,	0.28,
29/12/2019	16:10:00	UTC,1267.22,	360.96,	45.83,	3.27,	0.33,	0.08,
29/12/2019	16:20:00	UTC,1229.04,	345.61,	46.10,	2.84,	0.44,	0.08,
29/12/2019	16:30:00	UTC,1203.00,	339.48,	40.57,	2.60,	0.57,	0.10,
29/12/2019	16:40:00	UTC,1187.76,	335.30,	43.14,	2.35,	0.35,	0.08,
29/12/2019	16:50:00	UTC,1194.19,	339.49,	44.17,	2.93,	0.42,	0.16,
29/12/2019	17:00:00	UTC,1112.48,	317.85,	39.27,	3.95,	0.72,	0.00,
29/12/2019	17:10:00	UTC,1118.94,	319.86,	39.96,	1.83,	0.41,	0.26,
29/12/2019	17:20:00	UTC,1172.34,	331.71,	41.48,	3.15,	0.55,	0.20,
29/12/2019	17:30:00	UTC,1182.59,	336.78,	41.12,	2.92,	0.30,	0.10,
29/12/2019	17:40:00	UTC,1155.49,	327.46,	41.72,	2.74,	0.51,	0.00,
29/12/2019	17:50:00	UTC,1117.41,	314.75,	39.45,	3.06,	0.83,	0.09,
29/12/2019	18:00:00	UTC,1102.52,	315.67,	43.26,	2.40,	0.58,	0.25,
29/12/2019	18:10:00	UTC,1043.07,	298.26,	40.33,	3.01,	0.59,	0.08,
29/12/2019	18:20:00	UTC,1016.94,	294.30,	36.97,	2.50,	0.50,	0.08,
29/12/2019	18:30:00	UTC,1026.61,	291.10,	37.95,	2.43,	0.31,	0.15,
29/12/2019	18:40:00	UTC,984.60,2	81.66,3	4.39,2	.40,0	.10,0	.00,4
29/12/2019	18:50:00	UTC,942.23,2	70.93,3	7.43,2	.45,0	.26,0	.17,4
29/12/2019	19:00:00	UTC,915.55,2	59.72,3	5.04,2	.44,0	.46,0	.22,4
29/12/2019	19:10:00	UTC,902.14,2	58.13,3	2.23,2	.27,0	.50,0	.09,4
29/12/2019	19:20:00	UTC,884.67,2	49.43,3	2.54,2	.53,0	.39,0	.00,4
29/12/2019	19:30:00	UTC,865.92,2	48.42,3	3.15,2	.55,0	.85,0	.17,4
29/12/2019	19:40:00	UTC,983.94,2	80.00,3	6.35,2	.76,0	.27,0	.10,4
29/12/2019	19:50:00	UTC,938.41,2	68.31,3	2.14,2	.62,0	.19,0	.19,4
29/12/2019	20:00:00	UTC,978.86,2	73.78,3	7.71,2	.17,0	.44,0	.17,4
29/12/2019	20:10:00	UTC,979.78,2	77.39,3	5.67,3	.47,0	.62,0	.25,4
29/12/2019	20:20:00	UTC,1002.62,	286.80,	37.35,	3.99,	0.57,	0.10,
29/12/2019	20:30:00	UTC,1069.99,	305.74,	41.12,	3.05,	0.76,	0.14,
29/12/2019	20:40:00	UTC,1087.52,	309.32,	40.62,	2.65,	0.41,	0.00,
29/12/2019	20:50:00	UTC,1159.70,	323.55,	39.05,	3.53,	0.46,	0.16,
29/12/2019	21:00:00	UTC,1155.59,	323.91,	37.84,	2.93,	0.76,	0.21,
29/12/2019	21:10:00	UTC,1146.32,	321.80,	39.29,	3.49,	0.79,	0.00,
29/12/2019	21:20:00	UTC,1158.67,	326.44,	41.83,	3.23,	0.62,	0.19,
29/12/2019	21:30:00	UTC,1166.35,	328.65,	38.03,	2.16,	0.18,	0.00,
29/12/2019	21:40:00	UTC,1222.97,	345.94,	42.01,	2.66,	0.34,	0.09,
29/12/2019	21:50:00	UTC,1195.41,	337.53,	42.09,	3.89,	0.98,	0.16,
29/12/2019	22:00:00	UTC,1164.64,	326.66,	37.17,	2.45,	0.26,	0.00,
29/12/2019	22:10:00	UTC,1213.40,	340.24,	42.85,	3.16,	0.75,	0.16,
29/12/2019	22:20:00	UTC,1204.41,	341.99,	44.10,	3.48,	0.56,	0.17,
29/12/2019	22:30:00	UTC,1143.11,	323.28,	40.20,	2.58,	0.51,	0.20,
29/12/2019	22:40:00	UTC,1256.45,	357.72,	42.09,	3.30,	0.32,	0.08,
29/12/2019	22:50:00	UTC,1346.45,	381.42,	46.96,	4.16,	1.10,	0.33,
29/12/2019	23:00:00	UTC,1484.70,	416.45,	51.22,	4.41,	1.08,	0.29,
29/12/2019	23:10:00	UTC,1637.27,	461.03,	57.85,	4.26,	1.08,	0.34,
29/12/2019	23:20:00	UTC,1632.86,	457.77,	55.03,	4.06,	0.71,	0.30,
29/12/2019	23:30:00	UTC,1674.32,	471.93,	57.09,	4.76,	0.85,	0.49,
29/12/2019	23:40:00	UTC,1661.60,	469.24,	55.56,	3.79,	0.91,	0.23,
29/12/2019	23:50:00	UTC,1712.67,	485.84,	63.22,	5.66,	0.91,	0.39,
30/12/2019	00:00:00	UTC,1738.34,	488.14,	63.91,	5.75,	0.71,	0.16,
30/12/2019	00:10:00	UTC,1843.84,	519.07,	73.70,	4.83,	0.44,	0.15,
30/12/2019	00:20:00	UTC,1686.31,	478.57,	62.11,	7.20,	1.29,	0.27,
30/12/2019	00:30:00	UTC,1803.54,	516.53,	68.46,	4.90,	0.88,	0.18,
30/12/2019	00:40:00	UTC,1818.07,	509.76,	62.82,	5.71,	1.18,	0.33,
30/12/2019	00:50:00	UTC,1624.37,	458.04,	52.12,	3.54,	0.61,	0.09,
30/12/2019	01:00:00	UTC,1402.51,	393.26,	48.52,	4.62,	1.27,	0.37,
30/12/2019	01:10:00	UTC,1432.33,	402.95,	42.11,	3.12,	0.40,	0.15,

30/12/2019	01:20:00	UTC,1380.77,	390.65,	44.53,	3.09,	0.43,	0.00,
30/12/2019	01:30:00	UTC,1259.58,	356.71,	39.05,	2.39,	0.39,	0.30,
30/12/2019	01:40:00	UTC,1234.51,	345.65,	37.97,	2.89,	0.59,	0.27,
30/12/2019	01:50:00	UTC,1199.57,	338.86,	41.51,	3.10,	0.34,	0.08,
30/12/2019	02:00:00	UTC,1209.31,	342.34,	44.61,	4.37,	0.84,	0.18,
30/12/2019	02:10:00	UTC,1181.49,	333.49,	45.59,	4.12,	0.41,	0.00,
30/12/2019	02:20:00	UTC,1164.86,	327.28,	38.38,	4.21,	1.10,	0.42,
30/12/2019	02:30:00	UTC,1171.87,	332.21,	38.94,	3.72,	1.23,	0.37,
30/12/2019	02:40:00	UTC,1114.69,	313.91,	39.10,	3.15,	0.46,	0.25,
30/12/2019	02:50:00	UTC,1042.86,	290.75,	36.14,	3.54,	1.32,	0.28,
30/12/2019	03:00:00	UTC,997.20,2	84.70,3	2.50,2	.58,0	.67,0	.24,4
30/12/2019	03:10:00	UTC,937.05,2	65.78,3	2.60,3	.32,0	.68,0	.00,4
30/12/2019	03:20:00	UTC,1012.65,	285.43,	31.45,	2.49,	0.63,	0.00,
30/12/2019	03:30:00	UTC,1017.57,	288.31,	29.98,	2.51,	0.48,	0.22,
30/12/2019	03:40:00	UTC,1028.82,	291.45,	32.32,	2.34,	0.38,	0.00,
30/12/2019	03:50:00	UTC,1047.20,	291.95,	36.70,	2.91,	0.44,	0.16,
30/12/2019	04:00:00	UTC,1036.31,	291.94,	33.28,	2.66,	0.92,	0.12,
30/12/2019	04:10:00	UTC,957.59,2	72.09,3	0.00,2	.06,0	.59,0	.16,4
30/12/2019	04:20:00	UTC,1005.13,	281.73,	33.06,	1.84,	0.49,	0.17,
30/12/2019	04:30:00	UTC,1033.37,	290.09,	33.04,	2.48,	0.56,	0.07,
30/12/2019	04:40:00	UTC,1006.70,	282.79,	32.13,	2.18,	0.25,	0.16,
30/12/2019	04:50:00	UTC,1013.30,	285.17,	32.40,	2.39,	0.43,	0.18,
30/12/2019	05:00:00	UTC,1064.19,	303.64,	37.33,	3.53,	0.84,	0.17,
30/12/2019	05:10:00	UTC,1088.34,	306.28,	37.17,	3.93,	1.15,	0.26,
30/12/2019	05:20:00	UTC,1094.55,	307.13,	33.59,	2.43,	0.56,	0.00,
30/12/2019	05:30:00	UTC,1139.09,	321.25,	39.27,	2.82,	0.50,	0.26,
30/12/2019	05:40:00	UTC,1525.55,	428.87,	52.92,	3.63,	0.47,	0.10,
30/12/2019	05:50:00	UTC,2321.13,	654.25,	78.10,	4.32,	0.63,	0.29,
30/12/2019	06:00:00	UTC,2531.37,	719.30,	83.49,	6.07,	0.93,	0.25,
30/12/2019	06:10:00	UTC,2256.86,	636.23,	66.81,	3.53,	0.60,	0.17,
30/12/2019	06:20:00	UTC,2037.49,	572.60,	69.31,	4.64,	1.13,	0.28,
30/12/2019	06:30:00	UTC,1786.33,	504.75,	61.35,	4.22,	0.60,	0.08,
30/12/2019	06:40:00	UTC,1664.16,	472.90,	55.81,	3.26,	0.16,	0.07,
30/12/2019	06:50:00	UTC,1497.82,	424.40,	47.62,	1.96,	0.59,	0.24,
30/12/2019	07:00:00	UTC,1405.98,	392.89,	46.37,	2.57,	0.37,	0.08,
30/12/2019	07:10:00	UTC,1208.79,	343.75,	44.79,	2.87,	0.60,	0.07,
30/12/2019	07:20:00	UTC,1210.28,	346.57,	41.08,	2.00,	0.63,	0.08,
30/12/2019	07:30:00	UTC,1155.31,	333.11,	39.44,	3.02,	0.33,	0.18,
30/12/2019	07:40:00	UTC,1188.83,	335.94,	39.96,	3.35,	0.71,	0.44,
30/12/2019	07:50:00	UTC,1151.04,	329.10,	39.10,	2.91,	0.26,	0.00,
30/12/2019	08:00:00	UTC,1118.48,	317.44,	40.79,	3.15,	0.36,	0.17,
30/12/2019	08:10:00	UTC,1088.57,	309.03,	39.11,	2.38,	0.17,	0.08,
30/12/2019	08:20:00	UTC,1130.11,	322.46,	40.21,	3.01,	0.64,	0.23,
30/12/2019	08:30:00	UTC,1121.28,	321.46,	43.68,	3.65,	0.80,	0.26,
30/12/2019	08:40:00	UTC,1173.76,	331.61,	39.18,	2.71,	0.46,	0.29,
30/12/2019	08:50:00	UTC,1178.97,	336.64,	43.74,	3.07,	0.51,	0.14,
30/12/2019	09:00:00	UTC,1249.54,	357.63,	45.69,	3.33,	0.50,	0.08,
30/12/2019	09:10:00	UTC,1206.47,	345.41,	42.52,	3.49,	0.33,	0.07,
30/12/2019	09:20:00	UTC,1183.73,	338.91,	44.84,	3.47,	0.36,	0.20,
30/12/2019	09:30:00	UTC,1233.85,	347.50,	44.55,	2.98,	0.36,	0.10,
30/12/2019	09:40:00	UTC,1137.44,	324.83,	42.36,	3.35,	0.64,	0.40,
30/12/2019	09:50:00	UTC,1210.17,	343.52,	42.66,	2.73,	0.17,	0.17,
30/12/2019	10:00:00	UTC,1307.27,	372.29,	46.58,	3.05,	0.82,	0.29,
30/12/2019	10:10:00	UTC,1697.78,	475.52,	57.43,	3.45,	0.69,	0.07,
30/12/2019	10:20:00	UTC,1783.91,	502.39,	57.02,	3.30,	0.58,	0.14,
30/12/2019	10:30:00	UTC,2057.25,	576.58,	66.33,	4.48,	1.08,	0.52,
30/12/2019	10:40:00	UTC,2217.29,	626.70,	73.01,	5.30,	0.51,	0.17,
30/12/2019	10:50:00	UTC,2311.47,	648.90,	67.00,	3.78,	0.57,	0.23,
30/12/2019	11:00:00	UTC,2303.28,	649.41,	80.23,	5.83,	1.33,	0.54,
30/12/2019	11:10:00	UTC,2316.16,	645.20,	73.37,	4.66,	0.99,	0.10,
30/12/2019	11:20:00	UTC,2230.61,	628.96,	70.38,	4.39,	0.70,	0.35,
30/12/2019	11:30:00	UTC,2683.45,	753.08,	92.70,	6.77,	0.77,	0.16,
30/12/2019	11:40:00	UTC,3147.19,	889.65,	115.25	,7.02	,1.07	,0.33
30/12/2019	11:50:00	UTC,3620.12,	1029.87	,137.9	4,9.5	3,2.1	9,0.7
30/12/2019	12:00:00	UTC,3841.95,	1087.86	,147.8	6,10.	74,2.	38,0.
30/12/2019	12:10:00	UTC,4234.65,	1203.76	,172.8	4,14.	67,3.	12,0.
30/12/2019	12:20:00	UTC,4295.62,	1225.24	,168.2	9,10.	83,2.	26,0.

30/12/2019	12:30:00	UTC,4335.59,	1228.04	,160.1	6,11.	46.3.	07,0.
30/12/2019	12:40:00	UTC,4087.52,	1161.56	,146.9	9,11.	59,2.	46,0.
30/12/2019	12:50:00	UTC,4004.28,	1135.82	,150.7	5,9.8	8,1.8	0,0.4
30/12/2019	13:00:00	UTC,3301.68,	929.17,	117.31	,7.14	,0.78	,0.09
30/12/2019	13:10:00	UTC,3265.10,	927.41,	113.94	,7.89	,1.42	,0.82
30/12/2019	13:20:00	UTC,3019.00,	846.61,	105.13	,7.65	,2.08	,0.72
30/12/2019	13:30:00	UTC,2725.80,	769.88,	90.77,	6.07,	1.04,	0.13,
30/12/2019	13:40:00	UTC,2581.30,	733.14,	90.18,	5.86,	0.77,	0.08,
30/12/2019	13:50:00	UTC,2422.96,	690.85,	92.44,	7.18,	0.75,	0.18,
30/12/2019	14:00:00	UTC,2332.00,	662.45,	83.77,	6.97,	2.05,	0.69,
30/12/2019	14:10:00	UTC,2273.23,	645.01,	76.79,	6.38,	1.17,	0.26,
30/12/2019	14:20:00	UTC,2410.02,	671.03,	76.83,	6.44,	1.30,	0.25,
30/12/2019	14:30:00	UTC,2255.70,	636.12,	77.28,	5.89,	0.84,	0.32,
30/12/2019	14:40:00	UTC,2192.51,	616.85,	74.20,	4.97,	0.73,	0.43,
30/12/2019	14:50:00	UTC,2200.21,	627.53,	86.14,	6.92,	1.53,	0.32,
30/12/2019	15:00:00	UTC,2129.14,	600.19,	74.53,	6.35,	1.05,	0.33,
30/12/2019	15:10:00	UTC,2029.87,	574.00,	73.63,	6.29,	0.89,	0.31,
30/12/2019	15:20:00	UTC,2055.37,	584.43,	73.45,	5.16,	1.22,	0.33,
30/12/2019	15:30:00	UTC,2054.79,	582.60,	77.57,	6.09,	0.77,	0.26,
30/12/2019	15:40:00	UTC,2032.33,	576.76,	75.90,	4.37,	0.86,	0.42,
30/12/2019	15:50:00	UTC,2119.53,	607.60,	73.30,	3.74,	0.72,	0.15,
30/12/2019	16:00:00	UTC,2130.07,	609.63,	84.39,	5.44,	0.94,	0.26,
30/12/2019	16:10:00	UTC,2718.70,	776.46,	104.94	,6.92	,0.99	,0.10
30/12/2019	16:20:00	UTC,4863.73,	1393.87	,201.3	2,12.	73,2.	32,1.
30/12/2019	16:30:00	UTC,5990.94,	1723.61	,244.5	8,15.	89,1.	80,0.
30/12/2019	16:40:00	UTC,5782.83,	1659.15	,244.5	2,15.	34,2.	69,0.
30/12/2019	16:50:00	UTC,4726.96,	1360.17	,196.0	7,12.	92,2.	19,0.
30/12/2019	17:00:00	UTC,4135.95,	1178.98	,170.8	2,10.	63,1.	94,0.
30/12/2019	17:10:00	UTC,3893.73,	1114.72	,169.8	5,10.	68,1.	56,0.
30/12/2019	17:20:00	UTC,3639.32,	1037.4	,154.9	8,9.1	2,1.8	6,0.4
30/12/2019	17:30:00	UTC,3345.34,	955.31,	136.78	,6.80	,0.57	,0.02
30/12/2019	17:40:00	UTC,3319.13,	940.41,	138.54	,7.25	,1.83	,0.62
30/12/2019	17:50:00	UTC,3304.43,	943.31,	135.22	,8.85	,1.71	,0.48
30/12/2019	18:00:00	UTC,3214.63,	923.82,	138.43	,8.31	,1.32	,0.51
30/12/2019	18:10:00	UTC,3282.11,	939.42,	133.18	,8.44	,1.74	,0.44
30/12/2019	18:20:00	UTC,3549.56,	1004.63	,141.9	3,10.	35,1.	67,0.
30/12/2019	18:30:00	UTC,3240.10,	928.10,	132.66	,9.38	,1.76	,0.48
30/12/2019	18:40:00	UTC,3074.67,	876.72,	126.4	,7.44	,1.37	,0.24
30/12/2019	18:50:00	UTC,3004.28,	852.60,	115.37	,8.46	,1.67	,0.63
30/12/2019	19:00:00	UTC,2752.83,	794.58,	115.61	,8.00	,1.36	,0.44
30/12/2019	19:10:00	UTC,2548.88,	729.00,	106.75	,6.20	,0.92	,0.17
30/12/2019	19:20:00	UTC,2367.47,	675.82,	101.2	,7.13	,0.87	,0.13
30/12/2019	19:30:00	UTC,2286.31,	656.96,	93.69,	6.40,	0.89,	0.17,
30/12/2019	19:40:00	UTC,2339.75,	665.12,	98.28,	6.40,	1.02,	0.18,
30/12/2019	19:50:00	UTC,2398.16,	684.30,	100.9	,5.90	,0.91	,0.14
30/12/2019	20:00:00	UTC,2228.37,	639.70,	91.02,	6.47,	1.31,	0.24,
30/12/2019	20:10:00	UTC,2091.70,	597.58,	88.13,	5.41,	0.94,	0.45,
30/12/2019	20:20:00	UTC,2045.99,	583.92,	88.01,	5.67,	1.28,	0.31,
30/12/2019	20:30:00	UTC,2161.66,	619.50,	88.39,	6.55,	0.97,	0.31,
30/12/2019	20:40:00	UTC,2163.34,	618.20,	88.87,	5.00,	0.73,	0.47,
30/12/2019	20:50:00	UTC,2173.38,	617.41,	88.56,	4.81,	0.42,	0.09,
30/12/2019	21:00:00	UTC,2079.67,	596.35,	82.15,	6.00,	0.92,	0.02,
30/12/2019	21:10:00	UTC,1937.22,	553.13,	75.27,	6.21,	0.90,	0.50,
30/12/2019	21:20:00	UTC,1474.30,	418.37,	56.21,	3.98,	0.86,	0.38,
30/12/2019	21:30:00	UTC,1294.67,	366.72,	46.74,	3.08,	0.89,	0.30,
30/12/2019	21:40:00	UTC,1286.58,	364.18,	46.94,	2.90,	0.56,	0.26,
30/12/2019	21:50:00	UTC,1277.58,	365.05,	48.54,	2.79,	0.23,	0.00,
30/12/2019	22:00:00	UTC,1222.40,	346.90,	47.77,	3.50,	1.02,	0.48,
30/12/2019	22:10:00	UTC,1241.89,	350.57,	43.80,	2.64,	0.59,	0.00,
30/12/2019	22:20:00	UTC,1230.60,	342.53,	45.30,	3.59,	0.86,	0.23,
30/12/2019	22:30:00	UTC,1211.50,	349.34,	44.10,	2.80,	0.63,	0.09,
30/12/2019	22:40:00	UTC,1224.27,	350.64,	43.84,	3.11,	0.42,	0.08,
30/12/2019	22:50:00	UTC,1219.58,	348.39,	42.77,	2.92,	0.33,	0.16,
30/12/2019	23:00:00	UTC,1189.93,	339.31,	44.77,	2.60,	0.19,	0.10,
30/12/2019	23:10:00	UTC,1168.35,	333.20,	41.70,	3.89,	0.66,	0.27,
30/12/2019	23:20:00	UTC,1213.34,	343.52,	43.14,	2.82,	0.39,	0.18,
30/12/2019	23:30:00	UTC,1216.30,	345.18,	47.28,	2.46,	0.49,	0.00,

30/12/2019	23:40:00	UTC,1215.79,	342.42,	41.23,	3.26,	0.58,	0.27,
30/12/2019	23:50:00	UTC,1260.95,	355.69,	47.10,	3.43,	0.71,	0.16,
31/12/2019	00:00:00	UTC,1275.63,	364.95,	45.34,	3.70,	0.62,	0.19,
31/12/2019	00:10:00	UTC,1333.95,	379.16,	48.48,	3.45,	0.77,	0.10,
31/12/2019	00:20:00	UTC,2400.08,	675.72,	93.53,	5.85,	1.81,	0.58,
31/12/2019	00:30:00	UTC,2529.47,	725.00,	109.31	,6.72	,1.04	,0.51
31/12/2019	00:40:00	UTC,2762.51,	792.11,	113.5	,9.07	,1.88	,0.69
31/12/2019	00:50:00	UTC,2797.61,	797.69,	120.81	,9.80	,2.24	,0.69
31/12/2019	01:00:00	UTC,2613.90,	745.58,	110.35	,8.53	,1.71	,0.50
31/12/2019	01:10:00	UTC,2429.06,	696.28,	106.92	,8.27	,1.11	,0.43
31/12/2019	01:20:00	UTC,2461.59,	704.81,	99.44,	6.26,	1.05,	0.21,
31/12/2019	01:30:00	UTC,2343.34,	662.36,	96.85,	6.92,	1.68,	0.63,
31/12/2019	01:40:00	UTC,2362.55,	671.41,	95.22,	7.21,	1.14,	0.26,
31/12/2019	01:50:00	UTC,2356.00,	665.16,	93.11,	7.02,	1.54,	0.26,
31/12/2019	02:00:00	UTC,2356.90,	667.40,	95.08,	8.37,	1.48,	0.34,
31/12/2019	02:10:00	UTC,2336.51,	667.73,	97.10,	7.11,	1.00,	0.44,
31/12/2019	02:20:00	UTC,2464.22,	703.11,	94.21,	6.85,	1.26,	0.39,
31/12/2019	02:30:00	UTC,2870.36,	818.27,	113.67	,8.31	,0.91	,0.15
31/12/2019	02:40:00	UTC,3030.30,	856.54,	122.95	,8.13	,1.33	,0.44
31/12/2019	02:50:00	UTC,3261.44,	933.93,	138.71	,9.83	,1.94	,0.62
31/12/2019	03:00:00	UTC,2979.45,	844.49,	120.63	,9.15	,1.63	,0.50
31/12/2019	03:10:00	UTC,2349.88,	663.68,	90.71,	6.80,	1.16,	0.61,
31/12/2019	03:20:00	UTC,2268.09,	650.97,	94.12,	7.87,	1.92,	0.88,
31/12/2019	03:30:00	UTC,2292.27,	659.15,	97.34,	7.83,	1.26,	0.44,
31/12/2019	03:40:00	UTC,2255.37,	641.13,	88.08,	7.37,	1.73,	0.43,
31/12/2019	03:50:00	UTC,2270.28,	646.26,	95.23,	6.98,	1.39,	0.78,
31/12/2019	04:00:00	UTC,2373.27,	676.65,	98.37,	7.70,	1.60,	0.63,
31/12/2019	04:10:00	UTC,2376.70,	674.76,	102.19	,6.68	,1.51	,0.29
31/12/2019	04:20:00	UTC,2331.91,	667.43,	97.12,	7.42,	1.07,	0.54,
31/12/2019	04:30:00	UTC,2247.39,	636.84,	98.71,	6.33,	1.00,	0.25,
31/12/2019	04:40:00	UTC,2209.06,	631.93,	87.66,	6.59,	0.85,	0.23,
31/12/2019	04:50:00	UTC,2246.38,	642.28,	83.96,	6.42,	0.53,	0.23,
31/12/2019	05:00:00	UTC,2170.11,	612.61,	87.61,	5.59,	1.12,	0.24,
31/12/2019	05:10:00	UTC,2056.44,	583.39,	76.89,	6.04,	0.91,	0.31,
31/12/2019	05:20:00	UTC,1971.56,	561.10,	75.77,	5.66,	0.94,	0.38,
31/12/2019	05:30:00	UTC,1982.92,	566.94,	78.12,	4.29,	0.34,	0.00,
31/12/2019	05:40:00	UTC,1971.32,	564.43,	78.23,	5.63,	0.89,	0.15,
31/12/2019	05:50:00	UTC,2081.17,	589.01,	84.68,	4.35,	0.89,	0.17,
31/12/2019	06:00:00	UTC,2423.49,	688.40,	95.35,	6.53,	1.47,	0.43,
31/12/2019	06:10:00	UTC,2922.05,	834.46,	126.82	,8.12	,1.69	,0.72
31/12/2019	06:20:00	UTC,3024.29,	862.27,	123.41	,8.07	,1.07	,0.24
31/12/2019	06:30:00	UTC,3052.46,	877.52,	122.58	,7.30	,1.07	,0.27
31/12/2019	06:40:00	UTC,3063.43,	876.75,	130.57	,7.33	,0.90	,0.26
31/12/2019	06:50:00	UTC,3036.60,	867.79,	125.17	,9.22	,1.68	,0.50
31/12/2019	07:00:00	UTC,3009.01,	861.82,	130.7	,8.18	,1.51	,0.50
31/12/2019	07:10:00	UTC,3169.01,	908.77,	135.3	,10.9	,1.19	,0.03
31/12/2019	07:20:00	UTC,3430.35,	974.74,	136.73	,8.69	,1.24	,0.64
31/12/2019	07:30:00	UTC,3454.88,	989.81,	141.06	,8.56	,1.78	,0.49
31/12/2019	07:40:00	UTC,3320.14,	943.82,	136.5	,8.86	,1.41	,0.85
31/12/2019	07:50:00	UTC,3088.84,	885.39,	128.05	,8.56	,1.63	,0.32
31/12/2019	08:00:00	UTC,2948.51,	841.42,	117.55	,8.07	,1.57	,0.29
31/12/2019	08:10:00	UTC,2851.65,	812.81,	110.26	,6.91	,1.19	,0.12
31/12/2019	08:20:00	UTC,2651.57,	757.75,	102.75	,5.72	,1.42	,0.33
31/12/2019	08:30:00	UTC,2479.68,	710.00,	107.65	,6.29	,1.30	,0.31
31/12/2019	08:40:00	UTC,2412.85,	685.66,	99.36,	5.89,	1.33,	0.05,
31/12/2019	08:50:00	UTC,2289.77,	662.80,	97.44,	6.26,	1.03,	0.32,
31/12/2019	09:00:00	UTC,2333.27,	666.85,	102.16	,6.27	,0.83	,0.25
31/12/2019	09:10:00	UTC,2273.39,	657.26,	96.27,	6.39,	0.99,	0.23,
31/12/2019	09:20:00	UTC,2294.38,	660.25,	93.00,	5.63,	1.22,	0.38,
31/12/2019	09:30:00	UTC,2340.46,	675.12,	105.87	,6.49	,1.67	,0.46
31/12/2019	09:40:00	UTC,2343.26,	667.19,	100.57	,7.51	,1.54	,0.37
31/12/2019	09:50:00	UTC,2372.44,	679.27,	98.71,	7.11,	1.10,	0.51,
31/12/2019	10:00:00	UTC,2432.18,	693.31,	101.37	,6.92	,1.28	,0.51
31/12/2019	10:10:00	UTC,2419.79,	692.16,	107.22	,6.03	,0.74	,0.19
31/12/2019	10:20:00	UTC,2473.76,	707.43,	103.45	,6.81	,0.85	,0.55
31/12/2019	10:30:00	UTC,2553.13,	732.98,	107.91	,6.85	,1.18	,0.21
31/12/2019	10:40:00	UTC,2571.22,	730.27,	111.07	,6.98	,0.74	,0.38

31/12/2019	10:50:00	UTC,2683.85,	764.46,	114.86	,8.09	,0.81	,0.33
31/12/2019	11:00:00	UTC,3448.53,	988.42,	141.77	,9.99	,1.69	,0.39
31/12/2019	11:10:00	UTC,4481.91,	1282.74	,183.6	0.10,	44.1,	45.0,
31/12/2019	11:20:00	UTC,4458.04,	1285.86	,194.2	4,9.3	1,1.5	6,0.5
31/12/2019	11:30:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	11:40:00	UTC,7791.22,	2252.01	,367.3	8,26.	40,4.	61,1.
31/12/2019	11:50:00	UTC,7392.09,	2119.23	,303.6	4,21.	50,3.	77,1.
31/12/2019	12:00:00	UTC,7026.51,	2022.2	,333.3	9,30.	23,5.	47,1.
31/12/2019	12:10:00	UTC,6795.16,	1971.08	,343.4	8,27.	58,5.	24,1.
31/12/2019	12:20:00	UTC,6739.69,	1951.22	,340.2	8,27.	71,5.	39,1.
31/12/2019	12:30:00	UTC,6416.58,	1855.97	,321.5	2,27.	75,5.	74,2.
31/12/2019	12:40:00	UTC,5977.69,	1722.51	,304.4	8,26.	07,4.	74,1.
31/12/2019	12:50:00	UTC,6603.71,	1913.16	,326.2	8,24.	91,5.	47,1.
31/12/2019	13:00:00	UTC,6908.17,	1991.25	,329.1	8,26.	02,4.	20,1.
31/12/2019	13:10:00	UTC,7171.94,	2071.16	,335.0	0,24.	32,3.	70,0.
31/12/2019	13:20:00	UTC,5894.28,	1696.66	,280.0	1,24.	84,4.	50,1.
31/12/2019	13:30:00	UTC,5529.60,	1604.12	,274.8	0,22.	99,4.	48,1.
31/12/2019	13:40:00	UTC,4413.41,	1281.32	,243.0	1,19.	29,3.	31,0.
31/12/2019	13:50:00	UTC,4470.50,	1294.14	,231.8	3,16.	72,3.	04,0.
31/12/2019	14:00:00	UTC,4132.82,	1205.19	,226.0	3,17.	62,3.	30,0.
31/12/2019	14:10:00	UTC,6465.67,	1872.16	,318.6	5,26.	00,4.	91,1.
31/12/2019	14:20:00	UTC,4242.92,	1232.36	,213.9	9,17.	72,3.	34,0.
31/12/2019	14:30:00	UTC,4530.29,	1312.14	,215.8	2,19.	53,3.	70,0.
31/12/2019	14:40:00	UTC,5147.13,	1479.45	,247.4	7,19.	66,2.	72,0.
31/12/2019	14:50:00	UTC,5770.56,	1664.52	,268.2	3,21.	27,3.	44,1.
31/12/2019	15:00:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	15:10:00	UTC,3193.76,	913.42,	151.21	,10.5	4,1.6	2,0.1
31/12/2019	15:20:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	15:30:00	UTC,3805.16,	1088.3	,166.3	1,11.	92,2.	03,0.
31/12/2019	15:40:00	UTC,2912.92,	827.48,	126.48	,7.80	,1.50	,0.52
31/12/2019	15:50:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:00:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:10:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:20:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:30:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:40:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	16:50:00	UTC,3513.16,	1007.08	,164.7	9,14.	04,2.	29,0.
31/12/2019	17:00:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	17:10:00	UTC,2778.63,	797.23,	124.94	,6.55	,1.61	,0.52
31/12/2019	17:20:00	UTC,3187.95,	920.63,	136.28	,11.8	8,3.6	1,1.2
31/12/2019	17:30:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	17:40:00	UTC,1751.58,	497.24,	72.51,	7.02,	1.30,	0.52,
31/12/2019	17:50:00	UTC,1710.85,	502.73,	90.84,	8.78,	1.34,	0.00,
31/12/2019	18:00:00	UTC,1561.62,	447.69,	71.20,	5.86,	1.35,	0.36,
31/12/2019	18:10:00	UTC,1289.36,	373.71,	56.90,	4.38,	1.12,	0.36,
31/12/2019	18:20:00	UTC,1945.66,	554.66,	76.65,	5.26,	0.94,	0.60,
31/12/2019	18:30:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	18:40:00	UTC,2090.24,	593.89,	86.36,	7.97,	1.06,	0.02,
31/12/2019	18:50:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	19:00:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	19:10:00	UTC,1828.55,	526.00,	64.86,	4.60,	0.18,	0.00,
31/12/2019	19:20:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	19:30:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	19:40:00	UTC,1855.77,	530.39,	78.81,	5.17,	1.01,	0.17,
31/12/2019	19:50:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	20:00:00	UTC,1672.11,	474.83,	69.97,	2.30,	1.01,	0.32,
31/12/2019	20:10:00	UTC,1975.75,	570.00,	75.70,	4.36,	0.52,	0.26,
31/12/2019	20:20:00	UTC,1618.82,	463.93,	72.44,	4.06,	0.92,	0.17,
31/12/2019	20:30:00	UTC,1448.33,	410.81,	73.90,	4.75,	0.00,	0.00,
31/12/2019	20:40:00	UTC,2317.77,	676.24,	119.89	,7.58	,2.02	,0.64
31/12/2019	20:50:00	UTC,1908.46,	551.08,	85.64,	6.34,	1.62,	0.60,
31/12/2019	21:00:00	UTC,1702.94,	488.18,	73.80,	7.40,	1.30,	0.48,
31/12/2019	21:10:00	UTC,1538.59,	448.35,	73.46,	4.46,	0.17,	0.17,
31/12/2019	21:20:00	UTC,,,,,,,,,					
31/12/2019	21:30:00	UTC,1612.16,	463.71,	77.92,	6.10,	0.47,	0.00,
31/12/2019	21:40:00	UTC,1919.14,	551.67,	87.76,	5.64,	1.42,	0.50,
31/12/2019	21:50:00	UTC,2250.07,	651.01,	111.46	,7.50	,1.40	,0.46

31/12/2019	22:00:00	UTC,2085.55,	602.58,	87.47,	6.68,	0.86,	0.20,
31/12/2019	22:10:00	UTC,1841.35,	526.14,	78.37,	5.94,	0.79,	0.00,
31/12/2019	22:20:00	UTC,2543.06,	731.03,	103.17	,7.71	,1.11	,0.06
31/12/2019	22:30:00	UTC,3106.82,	871.42,	110.3	,9.30	,2.21	,0.73
31/12/2019	22:40:00	UTC,2348.34,	664.06,	95.68,	9.20,	2.20,	0.30,
31/12/2019	22:50:00	UTC,1709.72,	491.03,	80.68,	4.73,	1.10,	0.26,
31/12/2019	23:00:00	UTC,1901.64,	541.65,	80.39,	6.78,	0.78,	0.21,
31/12/2019	23:10:00	UTC,1750.54,	505.30,	81.58,	5.28,	0.87,	0.17,
31/12/2019	23:20:00	UTC,3456.81,	978.39,	119.13	,10.3	4,2.1	5,0.7
31/12/2019	23:30:00	UTC,2617.16,	742.21,	119.1	,11.1	5,2.4	4,0.9
31/12/2019	23:40:00	UTC,2315.60,	667.01,	103.5	,8.96	,1.95	,0.45
31/12/2019	23:50:00	UTC,2224.37,	636.84,	95.31,	7.88,	1.43,	0.45,
1/01/2020	00:00:00	UTC,3867.34,	1114.32	,184.1	1,14,	84,3.	58,0.
1/01/2020	00:10:00	UTC,3238.10,	921.84,	140.7	,11.8	5,1.9	7,0.5
1/01/2020	00:20:00	UTC,2254.23,	647.74,	95.46,	7.77,	1.05,	0.50,
1/01/2020	00:30:00	UTC,2481.28,	714.00,	113.66	,10.9	7,2.2	9,0.8
1/01/2020	00:40:00	UTC,2466.39,	713.99,	107.43	,7.90	,1.42	,0.75
1/01/2020	00:50:00	UTC,3009.92,	862.65,	118.16	,10.4	3,1.6	1,0.5
1/01/2020	01:00:00	UTC,2983.39,	855.48,	135.88	,10.5	1,2.2	1,0.5
1/01/2020	01:10:00	UTC,4591.50,	1310.25	,210.1	6,16.	03,3.	22,0.
1/01/2020	01:20:00	UTC,2540.96,	728.14,	112.48	,10.0	2,1.5	5,0.5
1/01/2020	01:30:00	UTC,2989.94,	851.09,	125.14	,8.93	,2.24	,0.68
1/01/2020	01:40:00	UTC,1164.67,	335.13,	51.14,	3.40,	0.60,	0.38,
1/01/2020	01:50:00	UTC,1517.51,	433.54,	57.07,	6.23,	1.37,	0.00,
1/01/2020	02:00:00	UTC,1293.95,	372.34,	54.16,	4.42,	0.33,	0.00,
1/01/2020	02:10:00	UTC,1118.29,	323.46,	41.85,	4.17,	1.31,	0.31,
1/01/2020	02:20:00	UTC,1456.19,	421.16,	74.31,	7.24,	2.88,	0.79,
1/01/2020	02:30:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	02:40:00	UTC,1468.39,	413.46,	62.96,	6.07,	1.71,	0.54,
1/01/2020	02:50:00	UTC,1632.41,	473.31,	80.82,	6.91,	1.31,	0.46,
1/01/2020	03:00:00	UTC,2275.85,	654.19,	112.89	,9.83	,1.92	,0.48
1/01/2020	03:10:00	UTC,2605.01,	748.67,	117.98	,7.60	,1.57	,0.41
1/01/2020	03:20:00	UTC,1838.10,	524.60,	80.99,	7.52,	1.89,	0.45,
1/01/2020	03:30:00	UTC,1804.10,	522.10,	88.80,	7.86,	1.42,	0.70,
1/01/2020	03:40:00	UTC,1569.25,	450.42,	74.60,	6.74,	2.08,	0.64,
1/01/2020	03:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	04:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	04:10:00	UTC,1061.58,	301.40,	46.66,	3.90,	0.97,	0.26,
1/01/2020	04:20:00	UTC,1237.14,	355.24,	50.17,	3.55,	0.89,	0.36,
1/01/2020	04:30:00	UTC,1168.42,	337.56,	52.91,	4.00,	0.66,	0.21,
1/01/2020	04:40:00	UTC,1257.38,	356.03,	52.99,	4.96,	1.34,	0.45,
1/01/2020	04:50:00	UTC,1410.25,	409.33,	62.95,	6.02,	0.78,	0.45,
1/01/2020	05:00:00	UTC,7841.22,	2319.86	,457.4	9.43,	73,8.	33,2.
1/01/2020	05:10:00	UTC,11428.86	,3329.7	1,631.00	06,62	,56,1	1,95,
1/01/2020	05:20:00	UTC,8188.02,	2382.18	,435.3	5,42.	68,7.	95,2.
1/01/2020	05:30:00	UTC,7148.97,	2066.59	,341.7	0,28.	54,4.	90,1.
1/01/2020	05:40:00	UTC,3503.36,	1015.55	,178.7	0,16.	60,3.	88,1.
1/01/2020	05:50:00	UTC,2754.20,	791.21,	135.88	,10.7	9,3.3	9,1.2
1/01/2020	06:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	06:10:00	UTC,3267.55,	948.06,	172.53	,13.7	6,2.6	8,1.1
1/01/2020	06:20:00	UTC,3700.80,	1072.41	,199.5	9,18.	07,3.	81,0.
1/01/2020	06:30:00	UTC,3307.13,	959.10,	178.85	,16.3	5,4.1	1,1.6
1/01/2020	06:40:00	UTC,1176.04,	340.42,	60.19,	6.15,	1.39,	0.54,
1/01/2020	06:50:00	UTC,939.91,2	71.85,4	6.96,3	,91,0	,85,0	,33,4
1/01/2020	07:00:00	UTC,1254.29,	361.96,	58.93,	5.65,	1.23,	0.45,
1/01/2020	07:10:00	UTC,1201.92,	347.35,	54.84,	4.82,	0.73,	0.32,
1/01/2020	07:20:00	UTC,1274.07,	369.38,	60.02,	5.26,	1.34,	0.33,
1/01/2020	07:30:00	UTC,1417.31,	406.76,	71.74,	7.78,	1.36,	0.37,
1/01/2020	07:40:00	UTC,1212.01,	348.82,	59.06,	6.12,	1.27,	0.63,
1/01/2020	07:50:00	UTC,2089.51,	605.58,	95.46,	7.25,	1.78,	0.32,
1/01/2020	08:00:00	UTC,2683.15,	775.07,	128.9	,10.3	8,2.1	1,0.6
1/01/2020	08:10:00	UTC,1596.83,	462.54,	76.06,	7.12,	1.81,	0.37,
1/01/2020	08:20:00	UTC,1361.08,	392.45,	64.91,	4.99,	0.83,	0.18,
1/01/2020	08:30:00	UTC,1554.89,	446.90,	75.50,	6.51,	1.65,	0.38,
1/01/2020	08:40:00	UTC,1852.06,	537.48,	91.89,	8.75,	1.71,	0.62,
1/01/2020	08:50:00	UTC,1989.59,	575.13,	97.30,	8.54,	2.08,	0.78,
1/01/2020	09:00:00	UTC,2715.21,	792.03,	150.18	,13.4	8,3.3	6,1.0

1/01/2020	09:10:00	UTC,2887.44,	838.51,	157.88	,12.9	6,2.5	7,0.9
1/01/2020	09:20:00	UTC,2628.71,	764.15,	138.8	,12.0	3,2.0	3,0.4
1/01/2020	09:30:00	UTC,2637.17,	771.03,	142.58	,12.0	4,2.5	1,0.6
1/01/2020	09:40:00	UTC,2689.14,	776.81,	141.85	,12.0	6,2.5	4,0.7
1/01/2020	09:50:00	UTC,2855.87,	833.83,	156.93	,14.2	9,2.9	4,1.2
1/01/2020	10:00:00	UTC,2962.09,	855.19,	159.71	,13.3	1,2.2	5,0.6
1/01/2020	10:10:00	UTC,3098.66,	893.93,	164.98	,13.8	4,3.6	0,0.9
1/01/2020	10:20:00	UTC,3196.01,	922.63,	165.21	,14.2	4,2.9	1,1.1
1/01/2020	10:30:00	UTC,2694.52,	783.57,	143.34	,12.9	6,2.2	3,0.3
1/01/2020	10:40:00	UTC,2760.71,	807.06,	148.93	,13.3	2,2.8	7,0.7
1/01/2020	10:50:00	UTC,2741.83,	789.81,	139.8	,12.4	7,2.3	5,1.0
1/01/2020	11:00:00	UTC,2582.23,	749.21,	136.5	,13.9	6,3.1	3,1.0
1/01/2020	11:10:00	UTC,3635.47,	1045.36	,179.8	9,16.	54,3.	11,0.
1/01/2020	11:20:00	UTC,4466.70,	1285.19	,214.3	9,18.	33,3.	12,1.
1/01/2020	11:30:00	UTC,5139.70,	1480.88	,245.7	0,16.	84,2.	93,0.
1/01/2020	11:40:00	UTC,4980.56,	1439.04	,230.4	1,16.	45,3.	40,1.
1/01/2020	11:50:00	UTC,4674.70,	1352.9	,225.0	2,16.	86,2.	89,1.
1/01/2020	12:00:00	UTC,4387.17,	1267.5	,211.8	4,17.	68,3.	53,1.
1/01/2020	12:10:00	UTC,4289.48,	1247.79	,208.6	6,17.	33,3.	21,0.
1/01/2020	12:20:00	UTC,4641.99,	1340.42	,232.9	5,18.	02,3.	91,1.
1/01/2020	12:30:00	UTC,4345.30,	1250.17	,199.4	2,15.	84,2.	90,1.
1/01/2020	12:40:00	UTC,4356.67,	1255.01	,200.9	7,17.	12,2.	46,0.
1/01/2020	12:50:00	UTC,4467.69,	1270.88	,186.3	1,12.	15,2.	32,0.
1/01/2020	13:00:00	UTC,2863.89,	817.80,	128.54	,10.1	9,1.8	6,0.6
1/01/2020	13:10:00	UTC,1989.72,	573.68,	92.11,	7,28,	1,67,	0,40,
1/01/2020	13:20:00	UTC,1902.40,	541.87,	88.06,	7,28,	1,28,	0,93,
1/01/2020	13:30:00	UTC,1705.41,	493.81,	81.04,	6,50,	1,68,	0,64,
1/01/2020	13:40:00	UTC,1464.48,	417.79,	65.67,	5,87,	1,03,	0,37,
1/01/2020	13:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	14:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	14:10:00	UTC,2025.24,	581.73,	96.42,	7,12,	1,84,	0,45,
1/01/2020	14:20:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	14:30:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	14:40:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	14:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:10:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:20:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:30:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:40:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	15:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	16:00:00	UTC,2151.25,	624.26,	116.28	,8.41	,1.64	,0.13
1/01/2020	16:10:00	UTC,2010.35,	589.07,	103.19	,9.68	,2.14	,0.68
1/01/2020	16:20:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	16:30:00	UTC,2909.00,	840.04,	143.24	,12.6	1,1.4	6,0.0
1/01/2020	16:40:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	16:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	17:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	17:10:00	UTC,2672.93,	772.44,	141.84	,12.1	3,2.8	7,1.2
1/01/2020	17:20:00	UTC,2804.52,	817.63,	147.32	,11.0	7,1.6	6,0.2
1/01/2020	17:30:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	17:40:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	17:50:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	18:00:00	UTC,,,,,,,,,					
1/01/2020	18:10:00	UTC,2729.81,	799.07,	150.25	,10.4	2,1.8	0,0.0
2/01/2020	04:20:00	UTC,267.26,7	7.24,12	.90,1.	96,0.	60,0.	28,0.
2/01/2020	04:30:00	UTC,196.47,5	5.56,8.	36,0.9	5,0.2	6,0.1	7,0.0
2/01/2020	04:40:00	UTC,252.21,7	1.79,10	.53,0.	76,0.	27,0.	00,0.
2/01/2020	04:50:00	UTC,281.41,7	9.39,12	.83,1.	20,0.	33,0.	00,0.
2/01/2020	05:00:00	UTC,286.29,8	4.23,13	.59,1.	36,0.	51,0.	25,0.
2/01/2020	05:10:00	UTC,210.01,5	9.69,9.	43,0.4	7,0.2	9,0.1	1,0.2
2/01/2020	05:20:00	UTC,148.79,4	4.66,6.	68,0.3	4,0.0	0,0.0	0,0.0
2/01/2020	05:30:00	UTC,154.62,4	3.29,6.	53,0.5	4,0.1	0,0.0	0,0.0
2/01/2020	05:40:00	UTC,152.82,4	3.28,5.	05,0.4	3,0.0	0,0.0	0,0.0
2/01/2020	05:50:00	UTC,135.69,3	8.11,4.	91,0.5	3,0.3	1,0.0	0,0.0
2/01/2020	06:00:00	UTC,128.64,3	7.32,5.	47,0.8	9,0.1	2,0.0	0,0.0
2/01/2020	06:10:00	UTC,149.74,4	3.80,6.	13,0.5	6,0.0	7,0.0	7,0.1

2/01/2020	06:20:00	UTC,145.89,4	1.11,4.	57,0.5	6,0.1	9,0.0	3,0.0
2/01/2020	06:30:00	UTC,125.52,3	4.12,4.	82,0.4	1,0.1	2,0.0	6,0.0
2/01/2020	06:40:00	UTC,150.38,4	0.92,4.	82,0.5	3,0.1	2,0.0	0,0.0
2/01/2020	06:50:00	UTC,145.98,4	0.37,4.	91,0.8	0,0.1	7,0.0	0,0.0
2/01/2020	07:00:00	UTC,156.45,4	3.57,4.	48,0.1	6,0.0	8,0.0	0,0.0
2/01/2020	07:10:00	UTC,213.55,6	1.38,7.	94,0.8	4,0.0	8,0.0	0,0.2
2/01/2020	07:20:00	UTC,633.57,1	81.79,2	5.11,1	.77,0	.18,0	.10,2
2/01/2020	07:30:00	UTC,323.54,9	2.31,12	.13,0.	58,0.	00,0.	00,0.
2/01/2020	07:40:00	UTC,285.86,8	2.70,11	.49,1.	25,0.	36,0.	00,0.
2/01/2020	07:50:00	UTC,417.65,1	20.67,1	5.61,1	.17,0	.15,0	.07,1
2/01/2020	08:00:00	UTC,1922.05,	545.40,	50.87,	3.82,	0.99,	0.47,
2/01/2020	08:10:00	UTC,1531.47,	424.83,	36.96,	2.40,	0.89,	0.24,
2/01/2020	08:20:00	UTC,950.10,2	65.79,2	5.20,1	.84,0	.42,0	.07,4
2/01/2020	08:30:00	UTC,574.83,1	64.19,1	8.46,1	.21,0	.27,0	.00,2
2/01/2020	08:40:00	UTC,473.50,1	33.17,1	4.40,0	.97,0	.09,0	.00,1
2/01/2020	08:50:00	UTC,374.28,1	04.16,9	.88,0.	76,0.	08,0.	00,1.
2/01/2020	09:00:00	UTC,338.22,9	5.66,10	.49,0.	78,0.	00,0.	00,0.
2/01/2020	09:10:00	UTC,466.36,1	31.20,1	6.31,1	.63,0	.28,0	.10,1
2/01/2020	09:20:00	UTC,668.86,1	90.44,2	4.13,2	.07,0	.55,0	.19,2
2/01/2020	09:30:00	UTC,750.72,2	12.73,2	2.87,0	.94,0	.08,0	.01,3
2/01/2020	09:40:00	UTC,527.70,1	50.89,1	7.11,1	.47,0	.19,0	.00,1
2/01/2020	09:50:00	UTC,386.23,1	09.47,1	5.19,1	.09,0	.07,0	.00,1
2/01/2020	10:00:00	UTC,869.19,2	47.15,3	3.85,2	.47,0	.45,0	.28,3
2/01/2020	10:10:00	UTC,816.98,2	37.72,3	0.47,2	.21,0	.28,0	.10,3
2/01/2020	10:20:00	UTC,722.03,2	05.84,2	8.12,3	.08,0	.65,0	.00,3