



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE
MATERIAL PARTICULADO 2.5, EN SIETE COLEGIOS DEL SECTOR DE
CHILLOGALLO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON SENSORES
DE BAJO COSTO EN EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2022**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieras Ambientales

**AUTORAS: KAROL NICOLE GONZÁLEZ SERAQUIVE
DAYANA NICOLE SALAZAR MOROCHO**

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Karol Nicole González Seraquive con documento de identificación N° 1724980626 y Dayana Nicole Salazar Morocho con documento de identificación N° 1755833116, manifestamos que:


Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana puede usar, definir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de febrero del año 2023

Atentamente,



Karol Nicole González Seraquive
1724980626



Dayana Nicole Salazar Morocho
1755833116

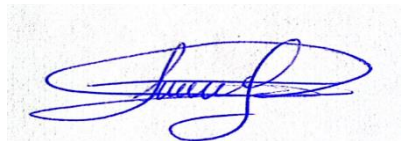
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Karol Nicole González Seraquive con documento de identificación N° 1724980626 y Dayana Nicole Salazar Morocho con documento de identificación N° 1755833116, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo Experimental : “Implementación de una red de monitoreo atmosférico de material particulado 2.5, en siete colegios del sector de Chillogallo del Distrito Metropolitano de Quito con sensores de bajo costo en el segundo semestre del 2022” , el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Ambientales en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

De acuerdo con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 22 de febrero del año 2023

Atentamente,



Karol Nicole González Seraquive
1724980626



Dayana Nicole Salazar Morocho
1755833116

DECLARATORIA DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Ulloa Vaca con documento de identificación N.º 1716457971, docente de la Universidad, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación:, **IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE MATERIAL PARTICULADO 2.5, EN SIETE COLEGIOS DEL SECTOR DE CHILLOGALLO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON SENSORES DE BAJO COSTO EN EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2022**, realizado por Karol Nicole González Seraquive con documento de identificación N.º 1724980626 y por Dayana Nicole Salazar Morocho con documento de identificación N.º 1755833116, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero del año 2023



B.q.F. Carlos Andrés Ulloa Vaca, M.Sc.

1716457971

DEDICATORIA

A mis padres Bolívar González y Teresa Seraquive por ser ejemplo de vida por enseñarme a valorar cada día y por creer en mí en cada una de mis metas con esfuerzo y dedicación. Han sido una parte fundamental en mi vida que con gran satisfacción y orgulloso les dedico mi tesis.

A mis hermanas Gabriela y Zuleidy que han sido un apoyo incondicional en cualquier circunstancia, por preocuparse en todo momento de mi carrera y sin importar han estado en los momentos más difíciles.

A Sebastián por el amor incondicional, fortaleza que me ha sabido brindar en cada una de mis metas por ser la motivación de salir adelante todos estos años de mi carrera y ser parte de mi vida durante muchos años incluso en momentos buenos y malos.

Karol Nicole González Seraquive

A mi madre, Patricia Morocho por ser mi motor, por confiar siempre en mí, ser mi ejemplo y apoyarme en cada paso que doy para permitirme seguir adelante, a mis abuelitos Julio y Lupita por ser mi apoyo incondicional a todo momento, por sus consejos y cuidados que han hecho de mí una mejor persona y me han permitido cumplir esta meta, la cual la realizo como un reconocimiento por todo su amor, paciencia y esfuerzo.

A mis hermanos, Paúl y Doménica por ser mi motivo de superación día a día, para brindarles lo mejor siempre y ser un ejemplo en su vida y a todas las personas que formaron parte de este proceso y estuvieron conmigo en todo momento.

Dayana Nicole Salazar Morocho

AGRADECIMIENTO

A DIOS primeramente por permitirme tener una experiencia hermosa dentro de la universidad y ser guía para lograr mis metas que me he propuesto llenando de muchas bendiciones en toda mi carrera.

A mis padres por su preocupación y dedicación en cada paso de mi vida que me ha tocado vivir sin dejarme sola.

A Nicole mi amiga incondicional que desde primer día que entramos a la universidad ha sido un apoyo incondicional, me ha brindado una amistad sincera y su paciencia siendo mi mano derecha durante todo este tiempo.

Y a todas las personas que han sido parte de mi vida en toda mi carrera por compartir enseñanzas y aventuras durante todo este tiempo universitario.

Karol Nicole González Seraquive

Agradezco a Dios por cuidar de mi familia, bendecirme y ser mi guía, por darme la fuerza y sabiduría para cumplir cada una de mis metas día a día.

A mi madre, por su esfuerzo, dedicación, apoyo y sobre todo por su amor incondicional para hacer de mí una mejor persona, a mis abuelitos por ser mi apoyo y guiarme en cada paso que doy, por cuidar de mí y ser el pilar fundamental de mi vida

A mi amiga Karol, por su amistad y apoyo incondicional a lo largo de los años, por su paciencia y todos los gratos momentos compartidos que nos permitieron fortalecer nuestra amistad.

A Alejandro por ser mi apoyo y estar junto a mí en todo momento, por su amor incondicional durante todos estos años y estar en mi vida motivándome cada día a ser mejor persona.

A todas las personas que han formado parte de mi vida y me han brindado su apoyo y cariño para culminar mi carrera universitaria.

Dayana Nicole Salazar Morocho

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos:.....	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. Contaminación atmosférica.....	4
2.2. Tipos de Contaminantes	4
2.3. Material Particulado	5
2.3.1. Material particulado PM 2.5 y PM 0.1	6
2.3.2. Material particulado PM10.....	6
2.4. Fuentes de Material particulado	7
2.4.1. Fuentes estacionarias.....	7
2.4.1.1. Fuentes estacionarias naturales.....	8
2.4.1.2. Fuentes estacionarias antropogénicas	8
2.4.2. Fuentes móviles.....	8
2.4.2.1. Fuentes Móviles Naturales	8
2.4.2.2. Fuentes Móviles Antropogénicas	9
2.5. Monitoreo de la calidad del aire	9
2.5.1. Monitoreo atmosférico	9
2.5.2. Sistema de medición de la calidad de aire	10
2.5.3. Métodos de medición de calidad del aire.....	10
2.5.3.1. Muestreo pasivo	11
2.5.3.2. Muestreo activo.....	11
2.5.3.3. Método automático.....	11
2.5.3.4. Método óptico de percepción remota	12
2.5.5. Equipos para medición de material particulado.....	13
2.5.5.2. Muestreador de partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM2.5	14
2.6. Parámetros Meteorológicos.....	14
2.6.1. Humedad Relativa.....	14
2.6.2. Temperatura	15
2.7. Afectación a la Salud	15
2.8. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire	16
2.9. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire.....	17
2.10. Índice de la calidad del aire	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Área de estudio	19

3.2.	Monitoreo atmosférico	21
3.2.1.	Equipos y Materiales	21
3.2.2.	Puntos de monitoreo.....	21
3.2.3.	Obtención de datos.....	23
3.2.3.1.	Técnica de muestreo continuo	23
3.3.	Análisis de datos	24
3.3.1.	Medidas de tendencia central	24
3.3.1.1.	Media	24
3.3.1.2.	Mediana.....	24
3.3.1.3.	Desviación estándar.....	24
3.3.2.	Coeficiente de Pearson	24
3.3.3.	Índice de Calidad del Aire.....	25
3.3.4.	Socialización de resultados a través de charlas a estudiantes.	26
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1.	Punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc (Unidad Educativa “Jesús de Nazareth”) 27	
4.1.1.	Material Particulado PM 2.5	27
4.1.2.	Índice de Calidad del Aire.....	29
4.1.3.	Humedad Relativa.....	32
4.1.4.	Temperatura	34
4.2.	Punto de Monitoreo _ EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620 (Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”)	36
4.2.1.	Material Particulado PM 2.5	36
4.2.2.	Índice de Calidad del Aire.....	39
4.2.3.	Humedad Relativa.....	42
4.2.4.	Temperatura	44
4.3.	Punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968 (Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari”).....	46
4.3.1.	Material Particulado PM2.5	46
4.3.2.	Índice de Calidad del Aire.....	48
4.3.3.	Humedad Relativa.....	51
4.3.4.	Temperatura	53
4.4.	Punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984 (Unidad Educativa Julio Tobar Donoso)	55
4.4.1.	Material Particulado PM 2.5.....	55
4.4.2.	Índice de Calidad del Aire.....	58
4.4.3.	Humedad Relativa.....	61
4.4.4.	Temperatura	63
4.5.	Punto de Monitoreo EC_QUITO_ISTPET_6d537c (Instituto Traversari)	65

4.5.1.	Material Particulado PM2.5	65
4.5.2.	Índice de Calidad del Aire	67
4.5.3.	Humedad Relativa	70
4.5.4.	Temperatura	72
4.6.	Punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8 (Unidad Educativa Particular Católica "RAFAEL BUCHELI").....	74
4.6.1.	Material Particulado PM 2.5.....	74
4.6.2.	Índice de Calidad del Aire	77
4.6.3.	Humedad Relativa	80
4.6.4.	Temperatura	82
4.7.	Punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4 (Academia Militar General Miguel Iturralde).....	84
4.7.1.	Material Particulado PM 2.5.....	84
4.7.2.	Índice de Calidad del Aire	86
4.7.3.	Humedad Relativa	89
4.7.4.	Temperatura	91
4.8.	Socialización de resultados y percepción estudiantil	93
4.9.	Discusión	98
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
5.1.	Conclusiones	101
5.2.	Recomendaciones	102
6.	BIBLIOGRAFIA	102
7.	ANEXOS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Tamaño de partículas</i>	6
Figura 2	<i>Nodos de sensores ambientales SEN5X</i>	13
Figura 3	<i>Muestreador de partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM2.5</i>	14
Figura 4	<i>Efectos a la salud</i>	16
Figura 5	<i>Niveles de calidad del aire</i>	19
Figura 6	<i>Mapa de Ubicación de los puntos de monitoreo atmosférico en el área de estudio con respecto al D.M.Q</i>	20
Figura 7	<i>Mapa de Ubicación de los puntos de monitoreo atmosférico Plataforma Aire Ciudadano</i> .	22
Figura 8	<i>Monitoreo Plataforma Aire Ciudadano</i>	23
Figura 9	<i>Tabla para cálculo AQI</i>	26
Figura 10	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	28
Figura 11	<i>ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	30
Figura 12	<i>ICA mensual septiembre a diciembre EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	31
Figura 13	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	33
Figura 14	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	35
Figura 15	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	37
Figura 16	<i>ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	40
Figura 17	<i>ICA mensual septiembre-diciembre EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	41
Figura 18	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	43
Figura 19	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	45
Figura 20	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	47
Figura 21	<i>ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	49
Figura 22	<i>ICA mensual septiembre a diciembre EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	50
Figura 23	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	52
Figura 24	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	54
Figura 25	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	56
Figura 26	<i>ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	59
Figura 27	<i>ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	60
Figura 28	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	62
Figura 29	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	64
Figura 30	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	66
Figura 31	<i>ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	68
Figura 32	<i>ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	69
Figura 33	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	71
Figura 34	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	73
Figura 35	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UERAFELBUCHELI_6d50b8</i> ...	75

Figura 36	<i>ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	78
Figura 37	<i>ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	79
Figura 38	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	81
Figura 39	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	83
Figura 40	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	85
Figura 41	<i>ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	87
Figura 42	<i>ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	88
Figura 43	<i>Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	90
Figura 44	<i>Medias Diarias temperatura EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	92
Figura 45	<i>Resultados estadísticos conocimiento de calidad del aire</i>	94
Figura 46	<i>Resultados estadísticos de enfermedades por la mala calidad del aire</i>	94
Figura 47	<i>Resultados estadísticos de conocimiento acerca de enfermedades cardiovasculares por la mala calidad del aire</i>	95
Figura 48	<i>Resultados estadísticos de las fuentes de contaminación del aire</i>	96
Figura 49	<i>Resultados estadísticos de contaminantes mas peligrosos para la salud</i>	96
Figura 50	<i>Resultados estadísticos de la calidad del aire en cada institución</i>	97
Figura 51	<i>Resultados estadísticos acerca de la preocupación de la contaminación del aire</i>	97
Figura 52	<i>Resultados estadísticos acerca de la implementación de programas educativos</i>	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Directrices OMS para material particulado</i>	17
Tabla 2 <i>Normativa Ecuatoriana para material particulado</i>	18
Tabla 3 <i>Puntos de monitoreo</i>	22
Tabla 4 <i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	27
Tabla 5 <i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	29
Tabla 6 <i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	r29
Tabla 7 <i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	31
Tabla 8 <i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	32
Tabla 9 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	33
Tabla 10 <i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	34
Tabla 11 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	36
Tabla 12 <i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	36
Tabla 13 <i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	38
Tabla 14 <i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	39
Tabla 15 <i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	41
Tabla 16 <i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i> . 42	
Tabla 17 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	43
Tabla 18 <i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d56</i>	44
Tabla 19 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	45
Tabla 20 <i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	46
Tabla 21 <i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	48
Tabla 22 <i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	48
Tabla 23 <i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	50
Tabla 24 <i>Medias diarias y mensual Humedad Relativa EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	51
Tabla 25 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	53
Tabla 26 <i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	53
Tabla 27 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	55
Tabla 28 <i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	55
Tabla 29 <i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	57
Tabla 30 <i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	58
Tabla 31 <i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	60
Tabla 32 <i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i> ...	61
Tabla 33 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	62
Tabla 34 <i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	63
Tabla 35 <i>Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	64
Tabla 36 <i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	65

Tabla 37	<i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	67
Tabla 38	<i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	67
Tabla 39	<i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	69
Tabla 40	<i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	70
Tabla 41	<i>Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	71
Tabla 42	<i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	72
Tabla 43	<i>Coficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	74
Tabla 44	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	74
Tabla 45	<i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	76
Tabla 46	<i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	77
Tabla 47	<i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	79
Tabla 48	<i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d</i> ..	80
Tabla 49	<i>Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	81
Tabla 50	<i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50</i> ...	82
Tabla 51	<i>Coficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	83
Tabla 52	<i>Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	84
Tabla 53	<i>Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	86
Tabla 54	<i>Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	86
Tabla 55	<i>Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	88
Tabla 56	<i>Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i> ..	89
Tabla 57	<i>Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa</i>	90
Tabla 58	<i>Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4</i>	91
Tabla 59	<i>Coficiente de correlación de Pearson Temperatura</i>	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Mapa de índice de calidad del aire mes de septiembre</i>	106
Anexo 2 <i>Mapa de índice de calidad del aire mes de octubre</i>	107
Anexo 3 <i>Mapa de índice de calidad del aire mes de noviembre</i>	107
Anexo 4 <i>Mapa de índice de calidad del aire mes de diciembre</i>	108
Anexo 5 <i>Sensor de bajo costo Sensirion SEN5x</i>	108
Anexo 6 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc</i>	109
Anexo 7 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620</i>	109
Anexo 8 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968</i>	110
Anexo 9 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984</i>	110
Anexo 10 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_ISTPET_6d537c</i>	111
Anexo 11 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8</i>	111
Anexo 12 <i>Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4</i>	112
Anexo 13 <i>Socialización de resultados a estudiantes</i>	112
Anexo 14 <i>Socialización de resultados a estudiantes</i>	113
Anexo 15 <i>Socialización de resultados a estudiantes</i>	114
Anexo 16 <i>Socialización de resultados a estudiantes</i>	115
Anexo 17 <i>Socialización de resultados a estudiantes</i>	116

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de evaluar la calidad del aire en siete instituciones educativas pertenecientes al sector de Chillogallo en el Distrito Metropolitano de Quito en base a la exposición a material particulado 2.5 mediante el monitoreo atmosférico utilizando sensores de bajo costo y realizando un seguimiento en tiempo real por medio de la plataforma virtual Aire ciudadano, con el fin de determinar el nivel de eficiencia de los datos obtenidos mediante el uso de sensores como una alternativa más accesible y económica, de tal forma que se establezca un interés, concientización y prevención acerca de la contaminación atmosférica por parte de la comunidad estudiantil y población en general. Para lo cual, se identificaron los puntos de monitoreo de la zona en base a la presencia de instituciones educativas mayormente expuestas al contaminante tomando en cuenta las fuentes de material particulado, la composición de las partículas y, lo que es más importante, el impacto negativo en la salud humana debido a factores como la contaminación vehicular.

Para el desarrollo de la investigación se obtuvo las medias diarias y mensuales al igual que picos máximos de las concentraciones del contaminante para su evaluación de acuerdo con los límites permisibles de la Organización Mundial de Salud (OMS) y la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, al igual que variables meteorológicas de cada mes en cada punto de monitoreo para el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA).

Palabras claves: Contaminación atmosférica, Calidad del aire, Distrito Metropolitano de Quito, material particulado 2.5, Sensores de bajo costo.

ABSTRACT

The present research work was carried out to evaluate the air quality in seven educational institutions belonging to the Chillogallo sector in the Metropolitan District of Quito based on exposure to particulate matter 2.5, through atmospheric monitoring using low-cost sensors and real-time monitoring through the virtual platform Aire Ciudadano to determine the level of efficiency of the data obtained using sensors as a more accessible and economical alternative so as to establish an interest, awareness and prevention of air pollution by the student community and the population in general. For which, the monitoring points of the area were identified based on the presence of educational institutions most exposed to the pollutant, considering the sources of particulate matter, the composition of the particles and, most importantly, the negative impact on human health due to factors such as vehicular pollution.

For the development of the research, we obtained the mean and maximum peak concentrations of the pollutant for its evaluation according to the permissible limits of the World Health Organization (WHO) and the Ecuadorian Air Quality Standard, as well as meteorological variables for each month at each monitoring point for the calculation of the Air Quality Index (AQI).

Keywords: air pollution, air quality, Low-cost sensors, Metropolitan District of Quito, particulate matter 2.5

1. INTRODUCCIÓN

El aire es el recurso más valioso del planeta y actualmente se encuentra amenazado por altos niveles de contaminación. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mala calidad del aire causa 1 de cada 10 muertes a nivel mundial, 7 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades causadas por la contaminación atmosférica. Es así como se ha identificado la importancia de medir los niveles de contaminación de aire por material particulado 2.5 siendo uno de los contaminantes más peligrosos, ya que pueden penetrar profundamente en los pulmones provocando enfermedades y afectando la función pulmonar.

En el Distrito Metropolitano de Quito se ha presenciado en los últimos años niveles superiores de contaminación atmosférica, lo que se ha visto afectado en la población provocando enfermedades específicamente pulmonares. Según Espinosa (2021), “ En el año 2019, durante 37 días existieron niveles de aire críticos que afectan a la población debido a la alta presencia de partículas contaminantes, lo que es muy grave para la salud humana” (p.11).

Además, como un antecedente investigativo se realizó un estudio en el año 2006 sobre la contaminación de material particulado en Quito donde se analizaron los límites máximos permisibles de acuerdo con la legislación ecuatoriana y sus efectos a la salud al igual que las instituciones encargadas a la gestión de calidad de aire.

En el esquema institucional para la gestión de la calidad del aire en el DMQ, le corresponde a la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), llevar adelante los proyectos definidos dentro del Plan de Manejo aprobado en agosto del 2005. Uno de esos proyectos tiene que ver con el monitoreo permanente de la calidad del recurso, con énfasis en aquellos parámetros que han sido identificados como los más prioritarios para la ciudad, entre ellos el material particulado. (Suárez y Páez, 2019)

Mediante esta investigación, se comprobó la gran cantidad de material particulado presente en la ciudad, provocados por los sulfatos de los combustibles que se utilizan en sectores con alto tráfico vehicular de transporte a Diésel como lo son los buses o el transporte público. Siendo así, no se ha implementado un control y monitoreo eficaz que garantice el derecho humano a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Dicho esto, el presente trabajo de investigación se enfoca en la zona urbana específicamente en zonas escolares las cuales son delimitadas por la implementación de una red de monitoreo en el Sector de Chillogallo ubicado al Sur de Quito, ya que los niños y jóvenes pueden llegar a exponerse a altos índices de contaminación atmosférica en sus instituciones educativas esto debido a que la zona es altamente transitada diariamente.

Por lo tanto, tener una comprensión precisa de la distribución de la calidad del aire en las ciudades es un paso necesario para tomar acciones para reducir la contaminación del aire por lo que, entidades gubernamentales y no gubernamentales realizan grandes esfuerzos mediante la instalación de redes de monitoreo de la calidad del aire. Sin embargo, tales esfuerzos están limitados por sus altos costos de instalación y mantenimiento. De este modo, esta investigación es factible, ya que para su implementación se cuenta con sensores de bajo costo, fácil manejo y funcionamiento, de tal manera que es accesible para la población.

La red de monitoreo atmosférico tiene la finalidad de analizar el comportamiento de material particulado, niveles de contaminación y generar datos en tiempo real para determinar el Índice de calidad de aire, manteniendo informados a los estudiantes y personas que conforman parte de la investigación, lo cual será para el beneficio, control y eficacia de la calidad del aire del Sector.

1.1. Objetivos:

1.1.1. Objetivo General

Implementar una red de monitoreo atmosférico de material particulado 2.5 en el Sector de Chillogallo con sensores de bajo costo para el análisis de los resultados de calidad del aire durante cuatro meses en el año 2022.

1.1.2. Objetivos Específicos

Analizar el comportamiento del material particulado 2.5, instalando sensores de monitoreo atmosférico en los colegios del Sector de Chillogallo que forman parte de la red, para determinar el índice de calidad del aire ICA.

Determinar los niveles de material particulado 2.5, utilizando la plataforma virtual Aire Ciudadano para obtener los datos de monitoreo en tiempo real.

Socializar los resultados de contaminación del aire, a través de charlas con el fin de explicar el manejo y funcionamiento de los equipos utilizados a estudiantes de niveles superiores de los siete colegios que conforman la red de monitoreo.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire se produce cuando se introducen en el aire sustancias químicas, partículas o gases que causan daño o incomodidad a los seres humanos u otros organismos vivos. Los componentes de la contaminación del aire se pueden dividir en contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se liberan directamente al aire por un proceso como la combustión.

Los principales contaminantes primarios incluyen monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) (juntos son NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas (PM), hidrocarburos orgánicos volátiles (COV) y metales (como el plomo). Los contaminantes secundarios son creados por la interacción de los contaminantes primarios a través de procesos químicos o aglomeración. Un contaminante secundario importante es el ozono troposférico, que se forma a partir de NO_x y COV en presencia de la luz solar. Algunos contaminantes, como el NO₂, son contaminantes primarios y secundarios.

2.2. Tipos de Contaminantes

Los contaminantes del aire a menudo se clasifican en tres grupos. NO_x, SO₂, CO, O₃ y COV son los contaminantes gaseosos. Las partículas o material particulado (PM) son el otro grupo principal de contaminantes del aire.

Los metales pesados como el plomo, el níquel, el cadmio y el mercurio son los contaminantes que se encuentran poco en el aire, por lo que se denominan oligoelementos. El dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂), el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), las partículas o material particulado (PM) y el plomo (Pb) son los principales contaminantes del aire declarados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, que ha establecido los estándares nacionales de calidad del aire de EE. UU.

Debido a la contaminación atmosférica que se presentan en la ciudad se requiere llevar a cabo acciones para mejorar la calidad de aire de estas y precautelar la salud de las personas siendo el primer paso, el evaluar la calidad del aire para poder determinar qué tipo de contaminantes se encuentran en el ambiente y aire que respiramos, lo cual permitirá a las autoridades locales y nacionales llevar un control y establecer límites permisibles de los contaminantes más peligrosos tanto para el medio ambiente como para la salud de la población y de esta forma prevenir efectos peligrosos hacia la salud e implementar medidas de prevención ante la contaminación atmosférica con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas.

2.3. Material Particulado

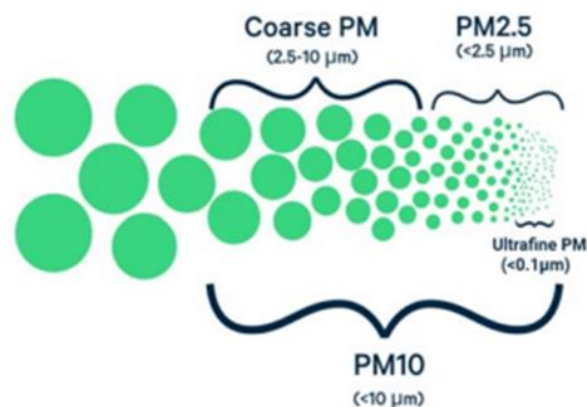
Los contaminantes del aire consisten en una combinación compleja de gases y partículas (PM). El material particulado se compone de una colección de materiales sólidos y/o líquidos de varios tamaños que van desde unos pocos nanómetros de diámetro (aproximadamente el tamaño de un virus) hasta alrededor de 100 micrómetros (100 μm , aproximadamente el grosor de un cabello humano).

El material particulado es un término que describe una mezcla de partículas sólidas y gotitas líquidas (aerosoles) de diferentes tamaños y composición. Las partículas pueden describirse por su masa, número o área de superficie. Estos pueden clasificarse en tres categorías: partículas gruesas (2.5-10 μm), partículas finas (<2,5 μm o PM 2,5) y partículas ultrafinas (<0,1 μm , o PM 0.1). (Kirešová y Guzan, 2022)

El material particulado grueso y las partículas finas generalmente se describen por la masa de partículas. Por el contrario, las partículas ultrafinas tienen el número más alto pero una masa insignificante, por lo que se describen mejor por el número de partículas.

Figura 1

Tamaño de partículas



Nota. La figura muestra los tamaños de los diferentes tipos de partículas. Tomado de: Smith, D. (2020)

2.3.1. Material particulado PM 2.5 y PM 0.1

El material particulado o también denominada PM 2.5, son partículas muy pequeñas en el aire que tienen un diámetro de 2.5 micrones que son alrededor de una décima parte de una pulgada aproximadamente. Este diámetro es menor que el grosor de un cabello humano. Las partículas son uno estándares de contaminantes del aire en los E.E.U.U. “EPA” estableciendo que, es una mezcla que contiene químicos orgánicos, polvo, hollín y metales y las mismas que pueden provenir de automóviles, camiones, fábricas, quema de madera y varias actividades.

El material particulado 0.1 o también denominado PM 0.1 son partículas que se encuentran en suspensión en el aire el cual cuenta con un diámetro aerodinámico de hasta 0.1 μm las cuales se denominan partículas ultrafinas o fracción ultrafina.

2.3.2. Material particulado PM10

El material particulado 10 o también denominado PM10 se pueden definir como partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, que varían de 2,5 a 10 μm de diámetro. Estas partículas se forman principalmente a partir de compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados y sustancias orgánicas ligadas a partículas de carbono conocido como hollín. Se caracterizan por tener un pH alcalino debido a la combustión descontrolada del material.

Las fuentes y usos de estas partículas pueden ser móviles o estacionarias, destacando que el 77,9% de la emisión total de PM10 proviene del polvo suspendido presente en la atmósfera. Otras fuentes de contaminación especialmente importantes son la industria, la construcción y el comercio con un 7,6% y el transporte por carretera con un 6,5%.

2.4.Fuentes de Material particulado

Las partículas pueden emitirse directamente al aire (PM primarias) o pueden formarse a través de reacciones químicas a partir de otros precursores gaseosos como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el amoníaco y los COV (compuestos orgánicos volátiles) distintos del metano, también conocidos como material particulado secundario (PM secundarias).

Las fuentes de material particulado primarias y los gases precursores pueden ser naturales o antropogénicos. Entre las fuentes antropogénicas se encuentra la combustión residencial. Aunque la combustión de madera residencial está etiquetada como combustible renovable, la combustión de biomasa y carbón es actualmente una fuente de material particulado. Este es el caso especialmente en invierno cuando la calefacción residencial con biomasa y carbón es más intensa.

2.4.1. Fuentes estacionarias

En términos de calidad del aire, las fuentes estacionarias son definidas como un emisor fijo de contaminantes presentes en la atmósfera, en este caso el material particulado. La naturaleza de su origen puede ser tanto natural por ejemplo incendios forestales, de igual forma antropogénica provenientes de actividades realizadas por el hombre como la industria y construcción. Payra et al. (2022)

2.4.1.1. Fuentes estacionarias naturales. -El material particulado se origina naturalmente a partir de una variedad de fuentes estacionarias. De estos, existen dos fuentes más prominentes.

Las erupciones volcánicas inyectan grandes cantidades de ceniza y gases a la atmósfera. Las partículas expulsadas por los volcanes en forma de polvo y cenizas están compuestas por sustancias como minerales, silicatos y óxidos metálicos; y gases como dióxido de carbono, vapor de agua y dióxido de azufre. Las propiedades de dispersión y absorción de las partículas volcánicas afectan el balance de radiación de la Tierra.

Los incendios forestales son los incendios descontrolados en áreas naturales como bosques, pastizales, sabanas y praderas. Pueden comenzar durante el clima seco con eventos naturales como relámpagos o debido a chispas causadas por humanos. Payra et al. (2022)

La fracción de partículas de los incendios forestales consiste en pequeñas partículas de humo que tienen principalmente tamaños submicrónicos. Estos incendios provocan riesgos para la salud y la seguridad, afectando a la calidad del aire.

2.4.1.2. Fuentes estacionarias antropogénicas. Las partículas formadas a partir de actividades antropogénicas se deben a la quema de combustibles fósiles de las centrales eléctricas, las industrias y el sector residencial; actividades agrícolas; y actividades de construcción y quema de rastrojos.

2.4.2. Fuentes móviles. - Una fuente móvil se define como cualquier fuente que no sea estacionaria o se mueva. Entre algunos ejemplos de fuentes móviles de emisión de material particulado son el polvo arrastrado por el viento, los automóviles y otros vehículos. Las fuentes móviles también se pueden clasificar en fuentes móviles naturales y fuentes móviles antropogénicas.

2.4.2.1. Fuentes Móviles Naturales. Las partículas biológicas son partículas primarias sólidas transportadas por el aire derivadas de fragmentos de materiales biológicos

como desechos vegetales, materia húmica, caspa animal y partículas microbianas. Payra et al. (2022)

2.4.2.2. Fuentes Móviles Antropogénicas. Entre este tipo de fuentes existen dos más dominantes las cuales contribuyen significativamente a la concentración de partículas atmosféricas, es decir, el transporte y arrastre de polvo de la carretera en el aire.

- El sector del transporte emite diferentes tipos de emisiones (emisiones primarias de PM del escape; precursores de PM gaseosos orgánicos e inorgánicos de la quema de combustible) de varios tipos de vehículos.
- El polvo de las carreteras es polvo que se encuentra en las carreteras y que se suspende en el aire debido al movimiento de los vehículos. Este polvo puede incluir el desgaste de los neumáticos, pequeñas gravas y asfalto.

El transporte por carretera contribuye de forma importante a las emisiones primarias de PM (hollín, partículas de desgaste y polvo de la carretera) y también es una fuente de partículas secundarias formadas por la condensación de especies gaseosas emitidas por el tubo de escape y en parte también por el desgaste de frenos y neumáticos. Así, las emisiones de PM del tráfico rodado son responsables de una proporción importante de las superaciones de los valores límite de calidad del aire de PM 10 y PM 2,5. Amato et al. (2014)

2.5. Monitoreo de la calidad del aire

2.5.1. Monitoreo atmosférico

Se entiende por un conjunto de acciones que ayudan y permiten a medir los valores de parámetros meteorológicos y de la calidad del aire de la ciudad, país, o región dada además es utilizado como un instrumento para la protección de la salud de la población y de los ecosistemas, permite evaluar y estudiar las concentraciones de un contaminante dependiendo de las condiciones limitantes en la norma establecida para la protección de la salud de la población. Salcido et al. (2019)

2.5.2. Sistema de medición de la calidad de aire

Un Sistema de Medición de la Calidad del Aire se determina a partir de la medición, registro y proceso de información sobre calidad del aire. Está formado a partir de estaciones de muestreo. Monitoreo y estaciones meteorológicas.

2.5.2.1. Estaciones de monitoreo

Una estación de monitoreo se lleva a cabo mediante varios equipos como los analizados automáticos, monitores, sensores meteorológicos, etc. Estos van a permitir monitorear las concentraciones de uno o más contaminantes que se encuentren en la atmosfera relaciones además con algunos parámetros meteorológicos con el objetivo de estimar la calidad del aire de un área determinada.

2.5.2.2. Red de monitoreo

Se conoce como red de monitoreo al conjunto de estaciones de muestreo, generalmente fijas y continuas, que se establecen para medir los parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos fijados y que cubren toda la extensión de un área determinada (Perugachi y Cocha, 2019).

Además, estas redes sirven para una variedad de funciones y son frecuentemente utilizadas en programaciones para medir diferentes tipos contaminantes presentes en el ambiente.

2.5.3. Métodos de medición de calidad del aire

La medición de contaminantes atmosféricos se obtiene a través de varios métodos a los cuales se agrupan de acuerdo con sus principios de medición en:

- Muestreo Pasivo
- Muestreo con Bioindicadores;

- Muestreo activo;
- Método automático;
- Método óptico de percepción remota

2.5.3.1.Muestreo pasivo

Agrupar un contaminante en específico por medio de la absorción en un sustrato químico seleccionado después pasa un periodo apropiado de muestreo en el cual se regresa al laboratorio desde la desorción del contaminado analizado cualitativamente, no son realizados para todos en general de los contaminantes solo se proporciona para un contaminante y en valores promedios (Instituto Nacional de Ecología, n.d.).

2.5.3.2.Muestreo activo

Este tipo de muestreo se requiere energía eléctrica para extraer el aire muestreado a través de una colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores e impactadores. (Instituto Nacional de Ecología, n.d.)

2.5.3.3.Método automático

Uno de los métodos de muestreo más utilizado y en mejores términos de resolución con respecto a sus mediciones se permite efectuar desde la medición continua para concentraciones horarias y menores, se lo realiza en espectro de contaminantes que van desde (PM10-PM2.5, CO, SO2, NO2, O3) hasta tóxicos en el aire como mercurio y algunos compuestos orgánicos volátiles. Además, es uno de los métodos que dentro de sus sistemas se muestran lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real, existen también varios equipos que son utilizados los cuales se clasifican en automáticos y monitoreos de partículas.(Instituto Nacional de Ecología, n.d.)

Es un tipo de método que nos refleja una alta resolución en resultados, nos permiten ver concentraciones máximas y mínimas en tiempo real estableciendo situaciones de alerta para implementar las respectivas medidas necesarias.

2.5.3.4. Método óptico de percepción remota

Se basan a partir de técnicas espectroscópicas lo cual van a transmitir un haz de luz en una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida que se lleva a cabo posible datos en tiempo de diferentes contaminantes, proporcionando mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de la trayectoria específica del contaminante. Su costo es muy elevado debido a que se requieren de varios puntos puntuales para el manejo de su técnica ya que se requiere personal capacitado en su operación y calibración (Instituto Nacional de Ecología, n.d.).

2.5.4. Métodos de referencia y métodos no regulados

Se han diseñado diferentes metodologías para muestrear o medir el material particulado entre ellas se definen técnicas o métodos de referencia y métodos no regulados.

Los métodos de referencia son aquellos que son utilizados para hacer las mediciones oficiales o de manera más confiable ya que, tienen una certificación y por ende son implementados en las estaciones de monitoreo de las autoridades ambientales. Dicho esto, los equipos de monitoreo como por ejemplo el muestreador de partículas HI VOL cumplen con una serie de protocolos para ser utilizados para métodos de referencia.

A diferencia de los métodos de referencia se considera como técnicas que no están reguladas o mediciones no reguladas a los muestreos de equipos de monitoreo que miden parámetros que no están en las normas de calidad del aire. Usualmente estas normas son adoptadas por los países o desarrolladas por cada país a partir de unas recomendaciones internacionales como por ejemplo la Organización Mundial de la Salud OMS. Dicho esto, los

países desarrollan y adoptan esas recomendaciones para sus normas y pueden poner unos valores de acuerdo con lo que definan con su grado desarrollo y sus problemáticas.

2.5.5. Equipos para medición de material particulado

2.5.5.1. Sensor de bajo costo para material particulado 2,5 Sensirion modelo SEN5X

Este es un sensor óptico de partículas compacto y de alta calidad de la marca Sensirion que utiliza una dispersión láser y la innovadora tecnología de resistencia a la contaminación, el cual es fundamental para lograr una medición de partículas y un agrupamiento superior ya que permite a los usuarios medir la concentración de masa y el número de partículas presentes en el aire de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (INECC, 2015)

Este dispositivo posee hardware Arduino el cual es capaz de capturar las señales emitidas en el entorno. Además, poseen una certificación de Monitoreo de la Agencia de Medio Ambiente, la cual consiste en un plan basado en normas internacionales que regula las emisiones, datos de vigilancia, equipo y personal para garantizar que los datos obtenidos sean de calidad.

Figura 2

Nodos de sensores ambientales SEN5X



Nota. La figura muestra los nodos de sensores ambientales marca SEN5X. Tomado de: Mouser Electronics,(n.d.)

2.5.5.2. Muestreador de partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM2.5

La calidad del aire requiere un monitoreo preciso y continuo para identificar los parámetros más contaminantes, especialmente las partículas de tamaño TSP, PM10 y PM2.5 que son perjudiciales para la salud humana. Para un adecuado monitoreo contamos con muestreadores de partículas PM10 aprobados por la EPA que obtienen datos confiables y cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la normativa de certificación de Colombia.

Figura 3

Muestreador de partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM2.5



Nota. La figura muestra el muestreador de partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM 2,5. Tomado de: Rojano et al. (2013)

2.6. Parámetros Meteorológicos

2.6.1. Humedad Relativa

La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de vapor de saturación. Se define como la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, comúnmente es menor que el necesario para saturar el aire. La unidad más utilizada para medición de densidad de vapor es el g/m^3 , se puede concluir que la humedad relativa se puede definir equivalentemente en términos de presión de vapor de agua en el aire comparada con su presión de vapor de saturación.

2.6.2. Temperatura

La temperatura es considerada una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. En física se define como una magnitud escalar relacionada a la energía interna de un cuerpo u objeto que se encuentre en el ambiente todo esto, definido por el principio cero de la termodinámica.

Está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

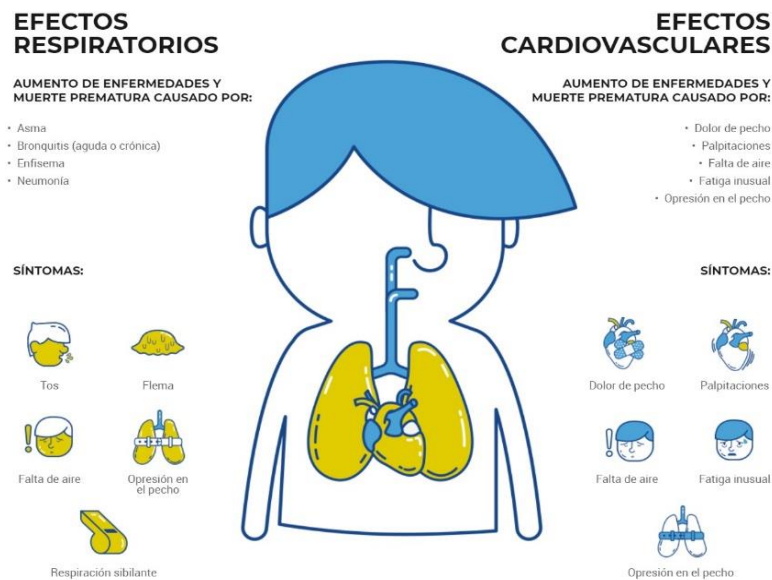
2.7. Afectación a la Salud

Históricamente, los efectos del material particulado sobre la salud humana se han relacionado con exacerbaciones de enfermedades respiratorias como la bronquitis, y recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre las enfermedades cardiovasculares. Trabajos científicos de investigación realizados recientemente han demostrado que este tipo de contaminación, particularmente el material particulado del tráfico urbano está asociado con una mayor morbilidad y mortalidad entre las poblaciones vulnerables, así como con un aumento del asma y las alergias en los niños.

En cuanto al PM2.5, su tamaño lo hace 100% respirable ya que penetra profundamente en los pulmones, ingresa al sistema respiratorio y se asienta en los alvéolos pudiendo llegar incluso a la sangre. Además, estas partículas más pequeñas están compuestas por elementos más tóxicos, como metales pesados y compuestos orgánicos, que los que normalmente forman las partículas más grandes. Todo esto significa que la evidencia científica muestra que estas partículas PM2.5 son peores para la salud que las partículas PM10 más grandes.

Además, su tamaño los hace más ligeros, por lo que tienden a permanecer más tiempo en el aire. Esto no solo prolonga su efecto, sino que también facilita su transmisión a largas distancias por el viento.

Figura 4
Efectos a la salud



Nota. La figura muestra los efectos del material particulado a la salud. Tomado de: Aire Ciudadano (2022)

2.8. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire

Desde 1987, la Organización Mundial de la Salud publica periódicamente directrices sobre la calidad del aire relacionadas con la salud para ayudar a los gobiernos y a la sociedad a reducir la exposición humana a la contaminación del aire y sus efectos adversos (OMS, 2005). Estas directrices tienen como objetivo principal ofrecer recomendaciones cuantitativas pertinentes a la salud para la gestión de la calidad del aire, las cuales son expresadas como concentraciones a largo o corto plazo de una serie de contaminantes atmosféricos y así proveer una orientación para ayudar a la disminución de los niveles de contaminación en todo el mundo.

Dicho esto, el exceder los niveles que conforman las directrices mencionadas sobre la calidad del aire está asociado a riesgos importantes para la salud pública.

Tabla 1.*Directrices OMS para material particulado*

Contaminante	Media 24 horas	Media anual
PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	5
PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	15

Nota. Tomado de: (OMS, 2021)

2.9. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire

El Acuerdo No. 061 expide el Anexo 4 de la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA referente a la Norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión.

La norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (UNEP Law and Environment Assistance Platform, 2015).

Según TULSMA (2017) se establecen Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente como las siguientes:

Para material particulado menor a 10 micrones (PM10) el promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM10 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas

durante un periodo anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5}) el promedio aritmético de la concentración de PM_{2,5} de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM_{2.5} cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). (pp. 312-313)

Tabla 2.

Normativa Ecuatoriana para material particulado

Contaminante	Media 24 horas	Media anual
PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	15
PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50

Nota. Tomado de: (TULSMA, 2017)

2.10. Índice de la calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permite comprobar, en tiempo real y de forma sencilla, la calidad del aire que marcan las estaciones de medición de la red nacional de vigilancia. Este incluye además recomendaciones sanitarias para la población general y la población sensible, y permite conocer la evolución del estado de calidad del aire en los últimos meses (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2018). El índice utiliza datos en tiempo real, es decir, datos provisionales y no validados, procedentes de las estaciones de monitorización y comunicados cada hora por las redes de calidad del aire que operan en el territorio nacional (S&P, 2019).

Como estándar de medición de la calidad del aire, ICA es una representación cuantitativa del nivel de contaminación del aire. Los principales contaminantes involucrados en el análisis según lo descrito por la agencia de protección ambiental de EE. UU (EPA) incluyen partículas finas (PM2.5), partículas inhalables (PM10), SO_2 , NO_2 , CO y O_3 . Donde PM 2.5 y PM10 se miden en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO en partes por millón (ppm), SO_2 , NO_2 , y O_3 en partes por mil millones (ppb).

El índice de calidad del aire se divide en seis niveles en total con un rango de 0 a 500 clasificado por colores de acuerdo con el nivel de concentración del contaminante y afectación a la salud.

Figura 5

Niveles de calidad del aire

ICA	Calidad del Aire	Proteja su Salud
0 - 50	Buena	No se anticipan impactos a la salud cuando la calidad del aire se encuentra en este intervalo.
51 -100	Moderada	Las personas extraordinariamente sensitivas deben considerar limitación de los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.
101-150	Dañina a la Salud de los Grupos Sensitivos	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.
151-200	Dañina a la Salud	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar los esfuerzos excesivos prolongados al aire libre; las demás personas, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.
201-300	Muy Dañina a la Salud	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar todos los esfuerzos excesivos al aire libre; las demás personas, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos físicos excesivos al aire libre.
300+	Arriesgado	

Nota. Tomado de: AQICN (2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra ubicado en la región Sierra del Ecuador, provincia de Pichincha y tiene una altura aproximada de 2850 msnm. La ciudad de Quito es la ciudad más contaminada de Ecuador, esto debido a la cantidad de automóviles que contribuyen a la contaminación del aire y a la cordillera que impide el flujo de aire para reducir

la contaminación. Dicho esto, se realiza un enfoque hacia la zona urbana específicamente en zonas escolares ya que, los niños y jóvenes pueden llegar a exponerse a altos índices de contaminación atmosférica en sus instituciones educativas.

Figura 6

Mapa de Ubicación de los puntos de monitoreo atmosférico en el área de estudio con respecto al D.M.Q.



Nota. Representación de los puntos de monitoreo atmosférico. Fuente: La investigación

El trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Quito en el sector de Chillogallo, en el cual existe gran presencia de tráfico vehicular debido a su densidad poblacional y por ende mayor presencia de transporte escolar y público como buses, esto debido también al número de instituciones educativas existentes, las mismas que están expuestas a altos índices de contaminación atmosférica, lo cual representa riesgo para la salud de niños y jóvenes del sector.

De acuerdo con los criterios de selección de sitio se definieron 7 estaciones de monitoreo fijas en instituciones educativas que se encuentran a mayor exposición para la toma de muestras de material particulado 2.5.

3.2.Monitoreo atmosférico

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se instalaron 7 sensores de bajo costo para la detección de material particulado 2.5 y con ello la evaluación de la calidad del aire en los lugares establecidos por la red de monitoreo. El monitoreo se realizó durante cuatro meses del segundo semestre del año 2022 (septiembre - diciembre) para la obtención de datos mediante la plataforma Aire Ciudadano y posteriormente su análisis estadístico e Índice de calidad del aire.

3.2.1. Equipos y Materiales

- ✓ Sensores para PM 2.5 Modelo SEN5X - Marca Sensirion
- ✓ Conexión Wifi
- ✓ Extensiones de Luz 110v
- ✓ Cinta doble faz
- ✓ Canaletas para cables
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ Aplicación Coordenadas - GPS
- ✓ Plataforma Aire Ciudadano
- ✓ Proyector portátil para computador

3.2.2. Puntos de monitoreo

Para esta fase se realizó la georreferenciación de los 7 puntos de monitoreo ubicados en el sector de Chillogallo considerando el tráfico vehicular como principal fuente de

3.2.3. Obtención de datos

3.2.3.1. Técnica de muestreo continuo

Se recolectaron los datos necesarios para la investigación por medio de esta técnica, la cual se la realizó mediante la implementación de estaciones de monitoreo fijas en cada institución educativa, las mismas que son capaces de medir las concentraciones del contaminante atmosférico ambiental en tiempo real de manera continua durante el tiempo establecido para la investigación mediante el uso de los sensores.

Se realizó la instalación en un lugar óptimo para el posterior uso de los sensores SEN5X para exteriores en cada punto de monitoreo, por lo que mediante una conexión wifi los datos obtenidos del monitoreo atmosférico de estos fueron cargados de manera automática en la plataforma virtual Aire Ciudadano, donde se puede observar mediante gráficas en tiempo real las concentraciones del contaminante PM 2.5 en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por cada hora monitoreada en cada punto al igual que datos meteorológicos de humedad relativa (%) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Dicha plataforma se encuentra disponible para todo aquel que lo requiera y con el fin de informar acerca de los niveles presentes de contaminación atmosférica en los puntos que forman parte de la red de monitoreo.

Figura 8

Monitoreo Plataforma Aire Ciudadano



Nota. Tomado de: Aire Ciudadano (2022)

3.3. Análisis de datos

Los datos obtenidos de los parámetros durante la etapa de monitoreo fueron un promedio por cada hora durante los 4 meses de investigación, por lo que se realizó el siguiente análisis estadístico:

3.3.1. Medidas de tendencia central

Una vez obtenida las mediciones realizadas y con los datos finales se debe aplicara la tendencia central de los mismo los cuales serán media, mediana y desviación central.

3.3.1.1. Media

Valor promedio de un conjunto de datos numéricos, calculada como la suma del conjunto de valores dividida entre el número total de valores. (Economipedia, 2018)

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_n}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.3.1.2. Mediana

Valor de posición central que parte la distribución en dos, es decir, deja la misma cantidad de valores a un lado que a otro. (Economipedia, 2018)

$$Med = L_{i-1} + \frac{\frac{n}{2} - N_{i-1}}{n_i} * A$$

3.3.1.3. Desviación estándar

Es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero. (López, 2019)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

3.3.2. Coeficiente de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson se establece para variables cuantitativas lo cual indicara el índice que mide el grado de covariación entre diferentes variables relacionadas

linealmente lo que va a significar que se relacionan, pero de forma lineal la cual al ser menor que cero va a hacer inversamente proporcional y mayor a cero directamente proporcional a la variable considerada. (*Coefficiente de Correlación Lineal de Pearson*, n.d.). Apartir de la siguiente formula:

$$R_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Donde:

x : Variable numero 1

y : Variable numero 2

Z_x : Desviación estándar de la variable 1

Z_y : Desviación estándar de la variable 2

N : Numero de datos

3.3.3. Índice de Calidad del Aire

El índice de calidad del aire AQI por sus siglas en inglés, se calcula usando las ecuaciones por separado para los parámetros. Por ejemplo, si desea calcular el AQI sobre la base de cuatro parámetros, use la ecuación cuatro veces y el peor subíndice comunica el AQI. Un subíndice es una función lineal (dos nociones diferentes pero relacionadas) de la concentración de contaminantes. (Sharma, 2022)

$$IP = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

IP: Índice del contaminante p

C_p : Concentración medida del contaminante p

BP_{Hi} : Punto de corte de la concentración mayor o igual a C_p







BP_{Lo} : Punto de corte de la concentración menor o igual a C_p

I_{Hi} : Valor del AQI correspondiente a BP_{Hi}

I_{Lo} : Valor del AQI correspondiente a BP_{Lo}

Figura 9

Tabla para cálculo AQI

	US AQI Level	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Health Recommendation (for 24 hour exposure)
WHO PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Recommended Guidelines as of September 22, 2021: 0-5.0			
	Good 0-50	0-12.0	Air quality is satisfactory and poses little or no risk.
	Moderate 51-100	12.1-35.4	Sensitive individuals should avoid outdoor activity as they may experience respiratory symptoms.
	Unhealthy for Sensitive Groups 101-150	35.5-55.4	General public and sensitive individuals in particular are at risk to experience irritation and respiratory problems.
	Unhealthy 151-200	55.5-150.4	Increased likelihood of adverse effects and aggravation to the heart and lungs among general public.
	Very Unhealthy 201-300	150.5-250.4	General public will be noticeably affected. Sensitive groups should restrict outdoor activities.
	Hazardous 301+	250.5+	General public at high risk of experiencing strong irritations and adverse health effects. Should avoid outdoor activities.

Nota. Tomado de: IQAir (2022)

3.3.4. Socialización de resultados a través de charlas a estudiantes.

Una vez obtenidos y analizados los datos de monitoreo estadísticamente con el fin de determinar el comportamiento del contaminante y su presencia en el sector, se realizó charlas a los estudiantes de los niveles más altos de las instituciones mencionadas anteriormente acerca de la contaminación provocada por este tipo de partículas al ambiente y sus efectos en la salud al igual que el funcionamiento y manejo adecuado de los sensores utilizados para la investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el monitoreo durante los 4 meses de estudio se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo con cada punto de monitoreo:

4.1. Punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc (Unidad Educativa “Jesús de Nazareth”)

4.1.1. Material Particulado PM 2.5

Tabla 4

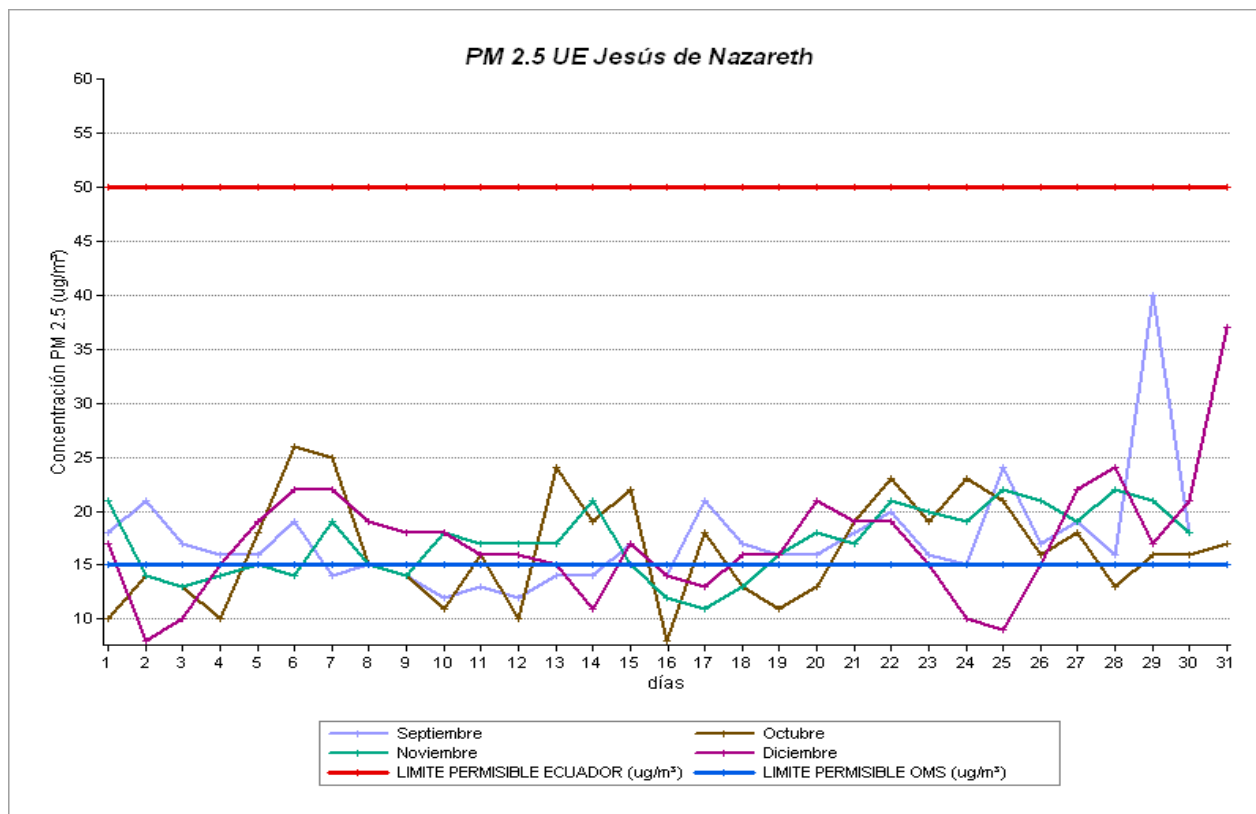
Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc

Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	18	10	21	17
2	21	14	14	8
3	17	13	13	10
4	16	10	14	15
5	16	18	15	19
6	19	26	14	22
7	14	25	19	22
8	15	15	15	19
9	14	14	14	18
10	12	11	18	18
11	13	16	17	16
12	12	10	17	16
13	14	24	17	15
14	14	19	21	11
15	17	22	15	17
16	14	8	12	14
17	21	18	11	13
18	17	13	13	16
19	16	11	16	16
20	16	13	18	21
21	18	19	17	19
22	20	23	21	19
23	16	19	20	15
24	15	23	19	10
25	24	21	22	9
26	17	16	21	15
27	19	18	19	22
28	16	13	22	24
29	40	16	21	17
30	18	16	18	21
31		17		37

Nota. La tabla representa las medias de concentraciones diarias de material particulado en el punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa “Jesús de Nazareth”. Fuente: La investigación

Figura 10

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Nota. Representación de concentraciones diarias de material particulado. Fuente: La investigación

En la figura 10 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondientes a los meses de septiembre a diciembre en el punto de monitoreo ubicado dentro de la Unidad Educativa Jesús de Nazareth. Las medias diarias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire TULSMA, en donde se observan picos de concentraciones máximas diarias de PM 2.5 de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 29 de septiembre y $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 31 de diciembre sobrepasando los límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS, sin embargo, las concentraciones se mantuvieron dentro de los límites permisibles de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la norma ecuatoriana durante 24 horas.

Tabla 5*Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc*

PM2.5 [ug/m ³]	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
Media	17	17	16	17
Mediana	14	11	14	15
Desv.est	10.07	11.32	9.32	12.05
Máximo	124	183	68	137
Fecha	25/09	27/10	24/11	31/12
Hora	13:00	11:00	18:00	23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado en la Unidad Educativa “Jesús de Nazareth”. Fuente: La investigación

En la tabla 5 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación, en la cual se observan las concentraciones medias mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximas. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los meses de septiembre, octubre y diciembre y una media mensual de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de noviembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes octubre con 183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 27 a las 11:00 h.

4.1.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 6*Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc*

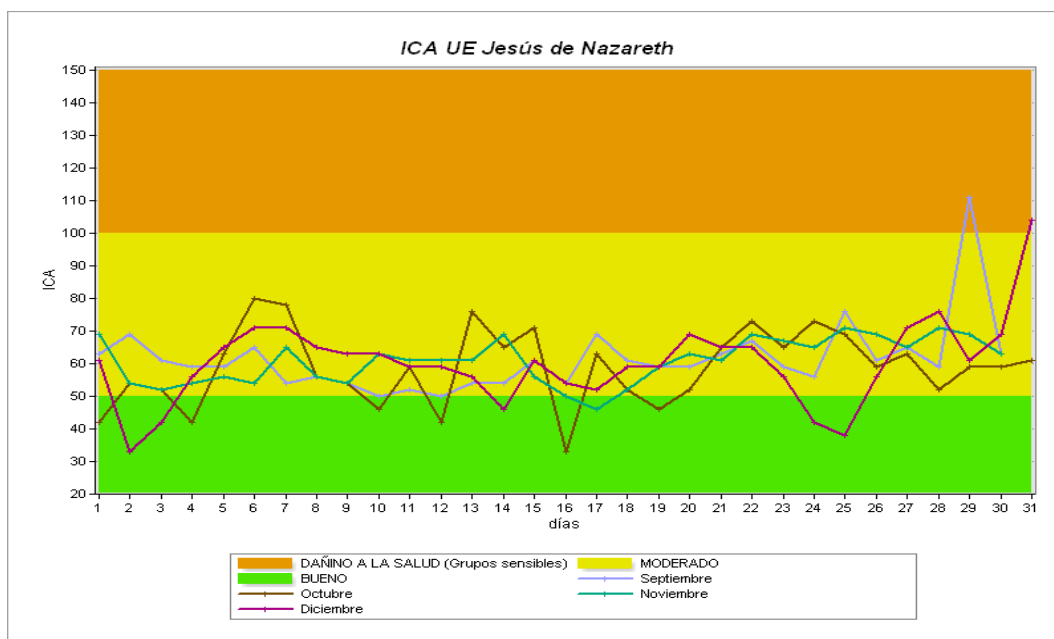
ICA				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	63	42	69	61
2	69	54	54	33
3	61	52	52	42
4	59	42	54	56
5	59	63	56	65
6	65	80	54	71
7	54	78	65	71
8	56	56	56	65
9	54	54	54	63
10	50	46	63	63
11	52	59	61	59

ICA				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
12	50	42	61	59
13	54	76	61	56
14	54	65	69	46
15	61	71	56	61
16	54	33	50	54
17	69	63	46	52
18	61	52	52	59
19	59	46	59	59
20	59	52	63	69
21	63	65	61	65
22	67	73	69	65
23	59	65	67	56
24	56	73	65	42
25	76	69	71	38
26	61	59	69	56
27	65	63	65	71
28	59	52	71	76
29	111	59	69	61
30	63	59	63	69
31		61		104

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en cada punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa “Jesús de Nazareth” Fuente: La investigación

Figura 11

ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Nota. Representación de índices de calidad del aire diarios en el punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa Jesús de Nazareth Fuente: La investigación

En la figura 11 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo ubicado dentro de la Unidad Educativa Jesús de Nazareth. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que la calidad del aire del punto de monitoreo se encuentra en su mayoría en un nivel moderado de 51 -100 de acuerdo con la representación de las concentraciones, sin embargo, se observan picos máximos el día 29 de septiembre y 31 de diciembre, evidenciando que la calidad del aire estuvo dentro de un nivel dañino para la salud de grupos sensibles.

Tabla 7

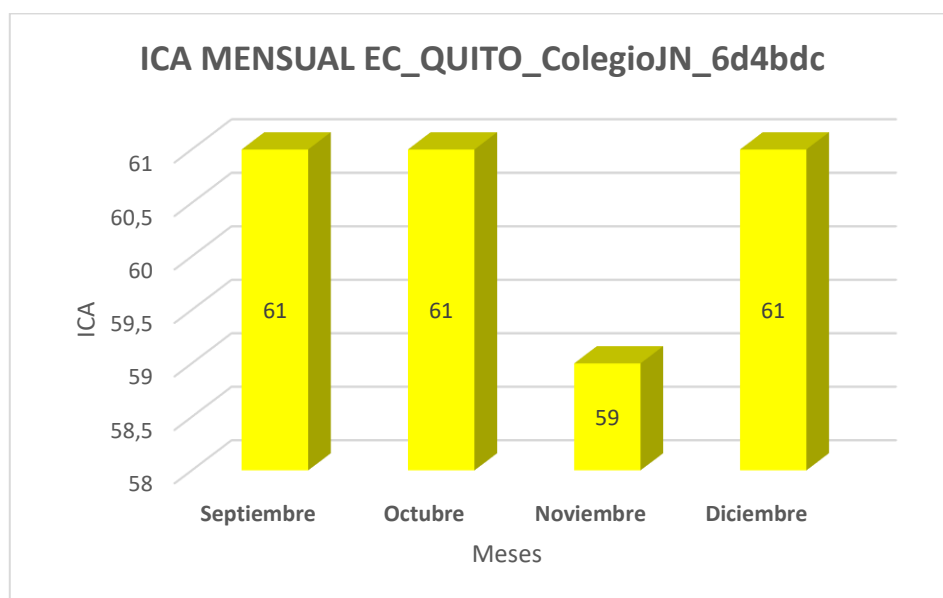
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	61	61	59	61

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa “Jesús de Nazareth” Fuente: La investigación

Figura 12

ICA mensual septiembre a diciembre EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa “Jesús de Nazareth” Fuente: La investigación

En la figura 12 se representan los índices de calidad del aire mensuales en el punto de monitoreo dando como resultado un índice de calidad moderado de 51 -100 durante los meses de investigación.

4.1.3. Humedad Relativa

Tabla 8

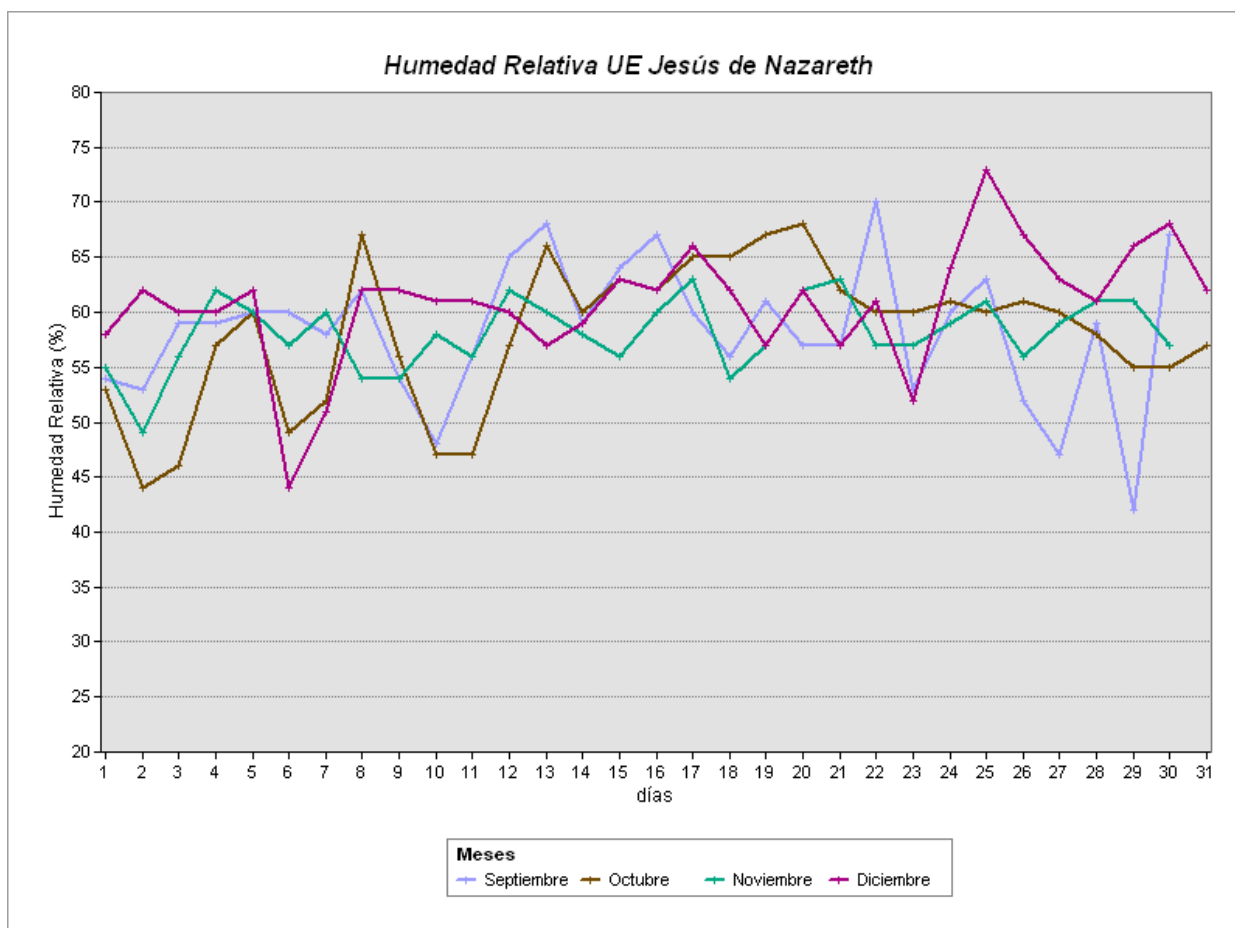
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	54	53	55	58
2	53	44	49	62
3	59	46	56	60
4	59	57	62	60
5	60	60	60	62
6	60	49	57	44
7	58	52	60	51
8	62	67	54	62
9	54	56	54	62
10	48	47	58	61
11	56	47	56	61
12	65	57	62	60
13	68	66	60	57
14	59	60	58	59
15	64	63	56	63
16	67	62	60	62
17	60	65	63	66
18	56	65	54	62
19	61	67	57	57
20	57	68	62	62
21	57	62	63	57
22	70	60	57	61
23	53	60	57	52
24	60	61	59	64
25	63	60	61	73
26	52	61	56	67
27	47	60	59	63
28	59	58	61	61
29	42	55	61	66
30	67	55	57	68
31		57		62
Media	58	58	58	61

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en cada punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa Jesús de Nazareth. Fuente: La investigación

Figura 13

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Nota. Representación de Humedad relativa (%) diaria en el punto de monitoreo. Fuente: La investigación

En la figura 13 se representa el comportamiento de la humedad relativa de acuerdo con las concentraciones medias diarias de PM 2.5 correspondientes a los meses de investigación. Se puede observar picos máximos de humedad correspondientes al 22 de septiembre con el 70 % y el 25 de diciembre con una humedad relativa de 73%.

Tabla 9

Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	-0,3892
Octubre	0,0708
Noviembre	0,1623
Diciembre	-0,2137

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y Humedad Relativa correspondiente a la Unidad Educativa Jesús de Nazareth. Fuente: La investigación

En la tabla 9 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo es inversamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 en los meses de septiembre y diciembre ya que, se puede evidenciar que a mayor humedad existen menores concentraciones de contaminantes en el ambiente a diferencia de los meses de octubre y noviembre donde fue directamente proporcional es decir, a mayor porcentaje de humedad mayor concentración de PM 2.5.

4.1.4. Temperatura

Tabla 10
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc

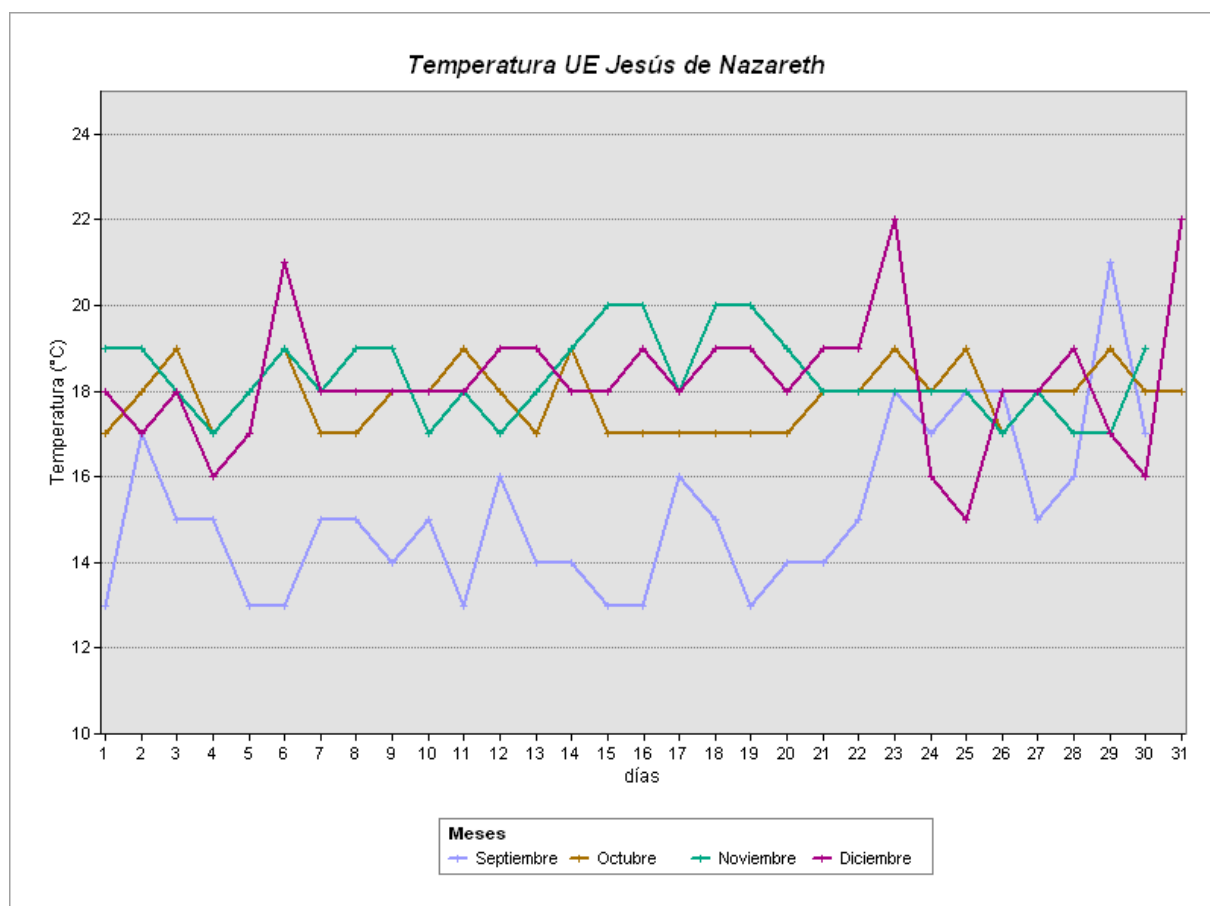
Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	13	17	19	18
2	17	18	19	17
3	15	19	18	18
4	15	17	17	16
5	13	18	18	17
6	13	19	19	21
7	15	17	18	18
8	15	17	19	18
9	14	18	19	18
10	15	18	17	18
11	13	19	18	18
12	16	18	17	19
13	14	17	18	19
14	14	19	19	18
15	13	17	20	18
16	13	17	20	19
17	16	17	18	18
18	15	17	20	19
19	13	17	20	19
20	14	17	19	18
21	14	18	18	19
22	15	18	18	19
23	18	19	18	22
24	17	18	18	16
25	18	19	18	15
26	18	17	17	18
27	15	18	18	18
28	16	18	17	19

Temperatura(°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
29	21	19	17	17
30	17	18	19	16
31		18		22
Media	15	18	18	18

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en cada punto de monitoreo correspondientes al mes de septiembre. Fuente: La investigación.

Figura 14

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo. Fuente: La investigación

En la figura 14 se representa los resultados obtenidos de acuerdo con la temperatura media diaria correspondientes a los meses de investigación. Se puede observar picos máximos de temperatura correspondientes al 23 y 31 de diciembre con una temperatura de 22 °C.

Tabla 11*Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura*

Meses	Temperatura
Septiembre	0,6235
Octubre	0,2423
Noviembre	-0,4205
Diciembre	0,5138

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a la Unidad Educativa Jesús de Nazareth. Fuente: La investigación

En la tabla 11 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson la temperatura en el punto de monitoreo es inversamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 en el mes de noviembre a diferencia de los meses de septiembre, octubre y diciembre donde fue directamente proporcional, es decir, a mayor temperatura concentración de PM 2.5.

Este resultado es acorde a lo publicado por Stafoggia (2008), el cual menciona que la temperatura es directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 ya que se puede evidenciar que, a mayor temperatura existen mayores concentraciones de contaminantes en el ambiente.

4.2. Punto de Monitoreo _ EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620 (Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”)

4.2.1. Material Particulado PM 2.5

Tabla 12*Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620*

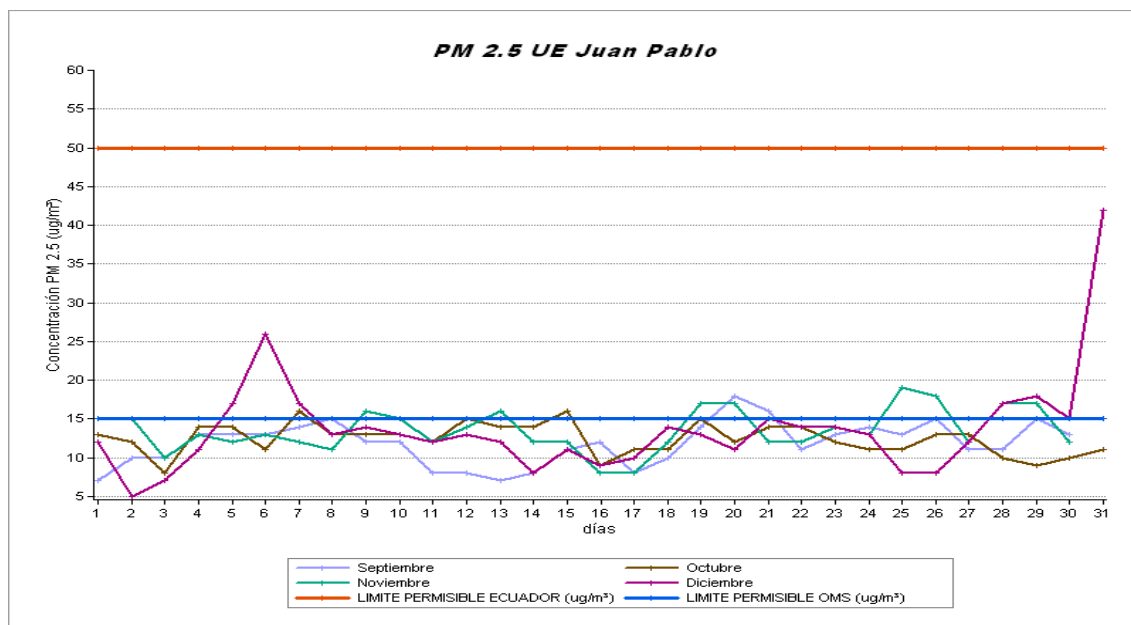
Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	7	13	15	12
2	10	12	15	5
3	10	8	10	7
4	13	14	13	11
5	13	14	12	17
6	13	11	13	26
7	14	16	12	17
8	15	13	11	13

PM 2.5				
Días	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
9	12	13	16	14
10	12	13	15	13
11	8	12	12	12
12	8	15	14	13
13	7	14	16	12
14	8	14	12	8
15	11	16	12	11
16	12	9	8	9
17	8	11	8	10
18	10	11	12	14
19	14	15	17	13
20	18	12	17	11
21	16	14	12	15
22	11	14	12	14
23	13	12	14	14
24	14	11	13	13
25	13	11	19	8
26	15	13	18	8
27	11	13	12	12
28	11	10	17	17
29	15	9	17	18
30	13	10	12	15
31		11		42

Nota. La tabla representa las medias de concentraciones diarias de material particulado en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II” Fuente: La investigación

Figura 15

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620



Nota. Representación de concentraciones diarias de material particulado en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la figura 15 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondientes a los meses de investigación en el punto de monitoreo ubicado dentro de la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Las medias diarias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire TULSMA, en donde se observan picos de concentraciones máximas diarias de PM 2.5 en el mes de diciembre con $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el día 6 y $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 31, sobrepasando los límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS sin embargo, las concentraciones se mantuvieron dentro de los límites permisibles de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la norma ecuatoriana durante 24 horas.

Tabla 13

Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620

PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Septiembre [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Octubre [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Noviembre [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Diciembre [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Media Mensual	12	12	14	14
Mediana	10	11	12	11
Desv.est	7.30	6.40	6.42	15.91
Máximo	68	63	45	269
Fecha y	28/09	27/10	19/11	31/12
Hora	12:00	7:00	11:00	23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado del punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la tabla 13 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación en la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”, en la cual se observan las concentraciones medias mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximas. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los meses de septiembre a octubre y una media mensual de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los meses de noviembre y diciembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de diciembre con $269 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 31 a las 23:00 h.

4.2.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 14

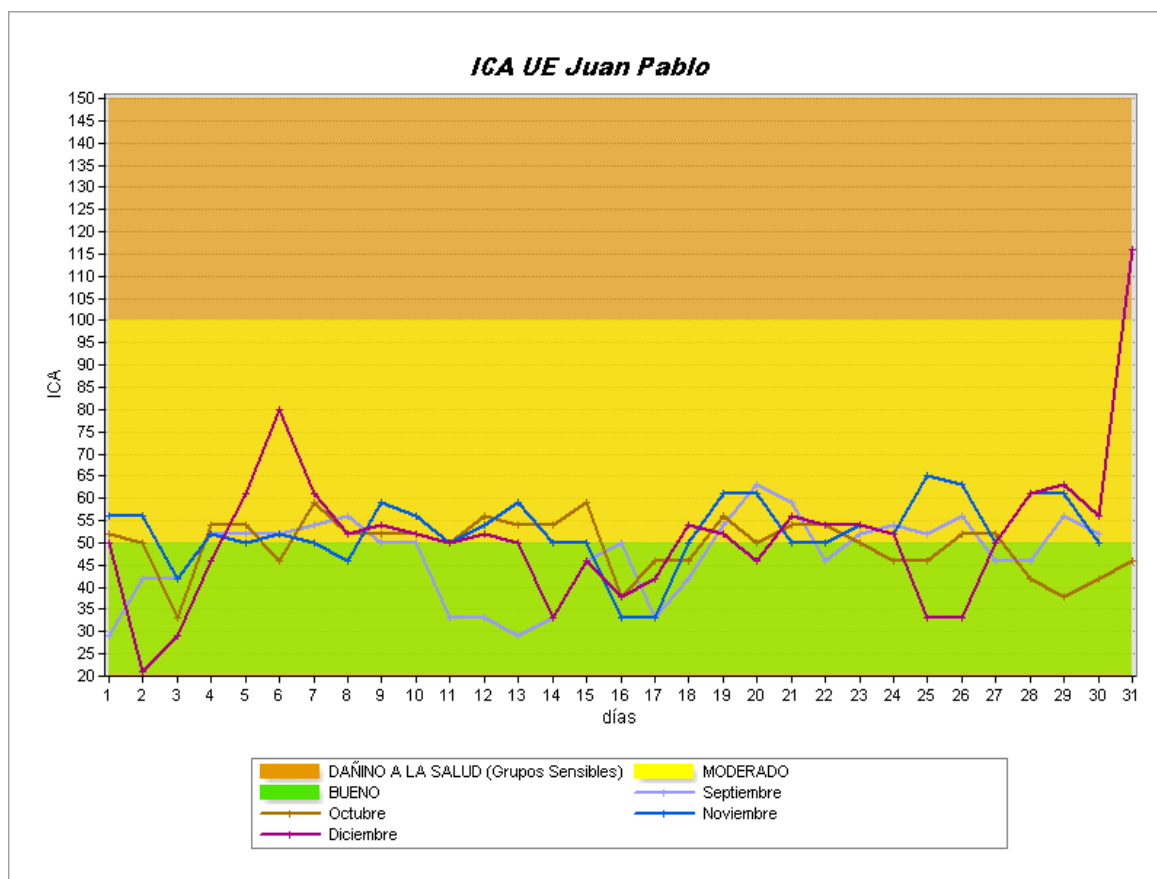
Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620

Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	29	52	56	50
2	42	50	56	21
3	42	33	42	29
4	52	54	52	46
5	52	54	50	61
6	52	46	52	80
7	54	59	50	61
8	56	52	46	52
9	50	52	59	54
10	50	52	56	52
11	33	50	50	50
12	33	56	54	52
13	29	54	59	50
14	33	54	50	33
15	46	59	50	46
16	50	38	33	38
17	33	46	33	42
18	42	46	50	54
19	54	56	61	52
20	63	50	61	46
21	59	54	50	56
22	46	54	50	54
23	52	50	54	54
24	54	46	52	52
25	52	46	65	33
26	56	52	63	33
27	46	52	50	50
28	46	42	61	61
29	56	38	61	63
30	52	42	50	56
31		46		116

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de índices de calidad del aire diarios del punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

Figura 16

ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620



Nota. Representación de índices de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la figura 16 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo ubicado dentro de la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que la calidad del aire del punto de monitoreo se encuentra dentro de un nivel bueno de 0-50 y moderado de 51 -100 de acuerdo con la representación de las concentraciones, sin embargo, se observa un pico máximo el día 31 de diciembre con un índice de 116, evidenciando que la calidad del aire estuvo dentro de un nivel dañino para la salud de grupos sensibles.

Tabla 15

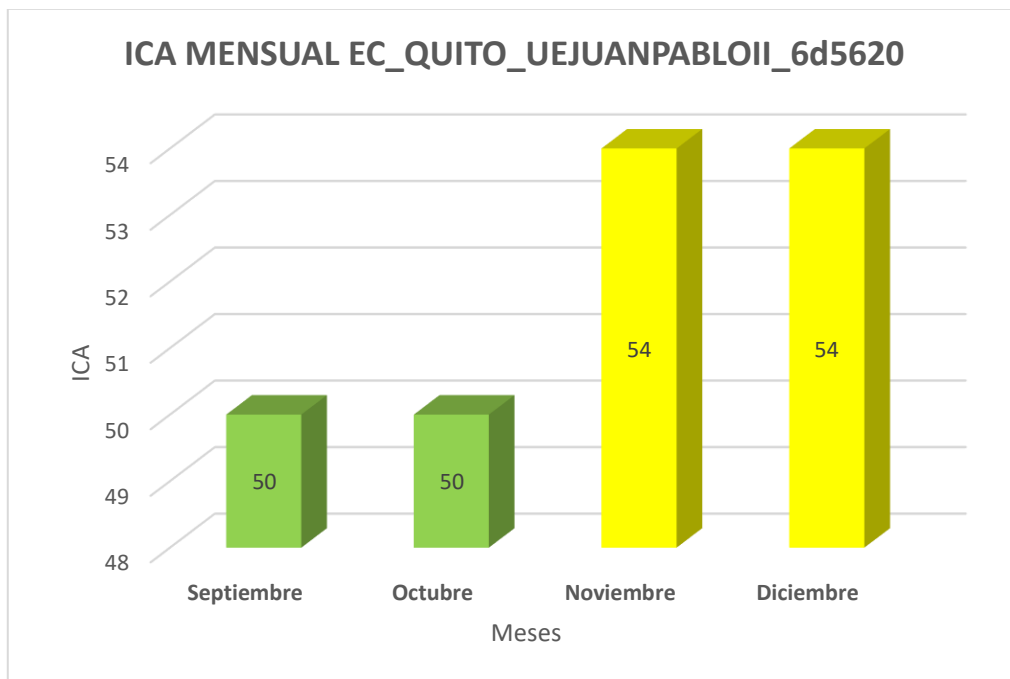
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	50	50	54	54

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de índices de calidad del aire mensuales del punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

Figura 17

ICA mensual septiembre-diciembre EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la figura 17 se representan los índices de calidad del aire mensuales en el punto de monitoreo dando como resultado un índice de calidad del aire bueno los meses de septiembre y octubre y un índice de calidad moderado de 51 -100 los meses de noviembre y diciembre.

4.2.3. Humedad Relativa

Tabla 16

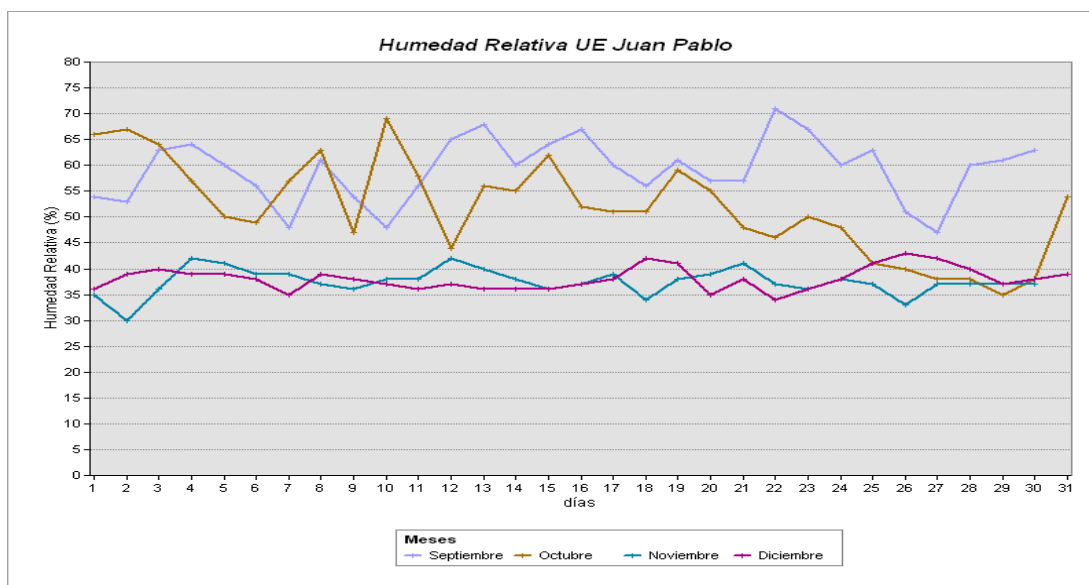
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	54	66	35	36
2	53	67	30	39
3	63	64	36	40
4	64	57	42	39
5	60	50	41	39
6	56	49	39	38
7	48	57	39	35
8	61	63	37	39
9	54	47	36	38
10	48	69	38	37
11	56	58	38	36
12	65	44	42	37
13	68	56	40	36
14	60	55	38	36
15	64	62	36	36
16	67	52	37	37
17	60	51	39	38
18	56	51	34	42
19	61	59	38	41
20	57	55	39	35
21	57	48	41	38
22	71	46	37	34
23	67	50	36	36
24	60	48	38	38
25	63	41	37	41
26	51	40	33	43
27	47	38	37	42
28	60	38	37	40
29	61	35	37	37
30	63	38	37	38
31		54		39
Media	59	52	37	38

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación.

Figura 18

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d5620



Nota. Representación de Humedad Relativa (%) diaria en el punto de monitoreo. Fuente: La investigación.

En la figura 18 se representa el comportamiento de la humedad relativa de acuerdo a las medias diarias correspondientes a los meses de investigación. Se puede observar que el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo es inversamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 ya que, se puede evidenciar que los meses de septiembre y octubre se presenta mayor humedad, y los meses de noviembre y diciembre menor humedad, lo cual quiere decir que existen menores concentraciones de contaminantes en el ambiente ante la presencia de un porcentaje alto de humedad y viceversa. Se puede observar picos máximos de humedad correspondientes al 22 de septiembre con el 71 % y el 10 de octubre con una humedad relativa de 69%.

Tabla 17

Coeficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	-0,1301
Octubre	0,2605
Noviembre	-0,1789
Diciembre	-0,0348

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y Humedad Relativa correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la tabla 17 se puede observar que, de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, la Humedad Relativa en el punto de monitoreo fue inversamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 en el mes de septiembre, noviembre y diciembre a diferencia del mes de octubre donde fue directamente proporcional, es decir, a mayor humedad, mayor concentración de PM 2.5.

4.2.4. Temperatura

Tabla 18

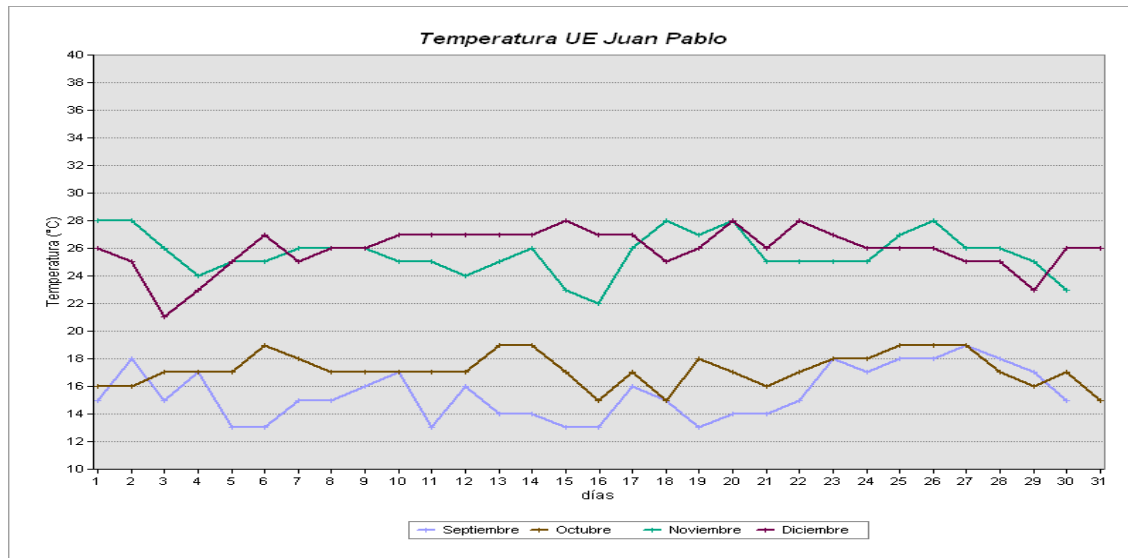
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_UJUANPABLOII_6d56

Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	15	16	28	26
2	18	16	28	25
3	15	17	26	21
4	17	17	24	23
5	13	17	25	25
6	13	19	25	27
7	15	18	26	25
8	15	17	26	26
9	16	17	26	26
10	17	17	25	27
11	13	17	25	27
12	16	17	24	27
13	14	19	25	27
14	14	19	26	27
15	13	17	23	28
16	13	15	22	27
17	16	17	26	27
18	15	15	28	25
19	13	18	27	26
20	14	17	28	28
21	14	16	25	26
22	15	17	25	28
23	18	18	25	27
24	17	18	25	26
25	18	19	27	26
26	18	19	28	26
27	19	19	26	25
28	18	17	26	25
29	17	16	25	23
30	15	17	23	26
31		15		26
Media	15	17	26	26

Nota. La tabla representa las medias diarias de Temperatura (°C) en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

Figura 19

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación.

En la figura 19 se representa los resultados obtenidos de acuerdo con la temperatura media diaria correspondientes a los meses de investigación. Se puede observar que la temperatura es directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 ya que se puede evidenciar que, a mayor temperatura existen mayores concentraciones de contaminantes en el ambiente. Se puede observar que los meses de noviembre y diciembre presentaron altas temperaturas provocando la concentración de material particulado en el ambiente a diferencia de los meses de septiembre y octubre.

Tabla 19

Coficiente de correlación de Pearson Temperatura

Meses	Temperatura
Septiembre	0,0616
Octubre	0,2545
Noviembre	0,4717
Diciembre	0,04104

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a la Unidad Educativa Fiscomisional “Juan Pablo II”. Fuente: La investigación

En la tabla 19 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson la temperatura en el punto de monitoreo fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los 4 meses de investigación, es decir, a mayor temperatura, mayor concentración de PM 2.5.

4.3. Punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968 (Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari”)

4.3.1. Material Particulado PM2.5

Tabla 20

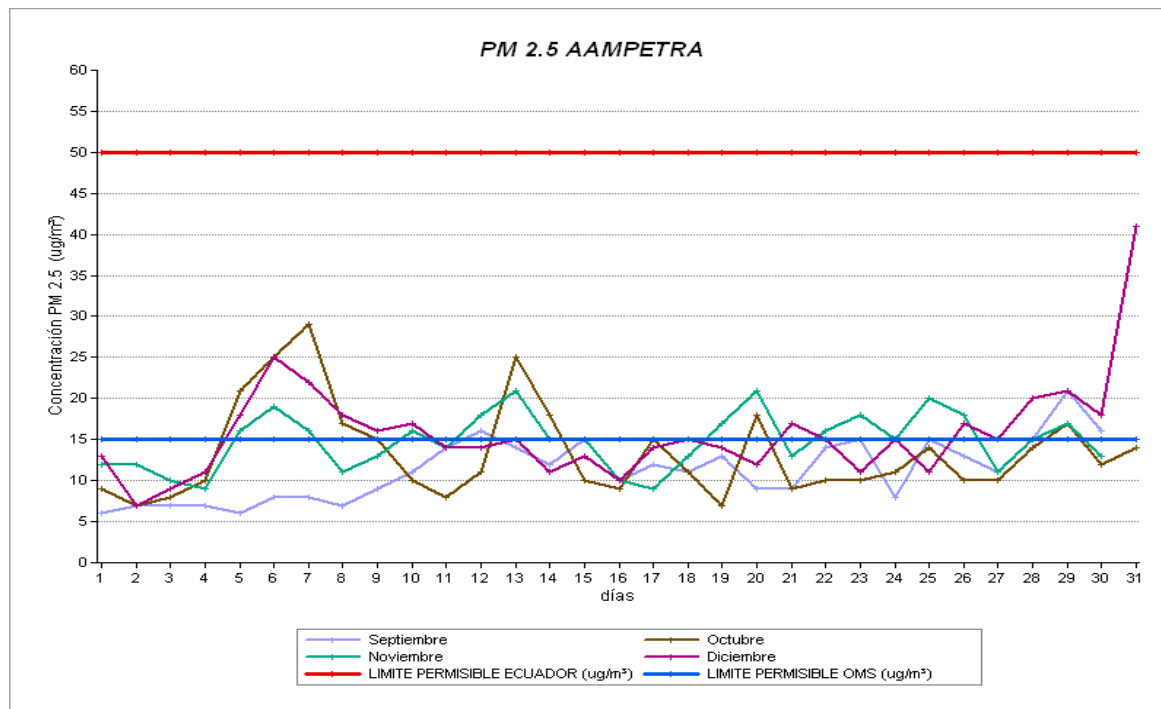
Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968

Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	6	9	12	13
2	7	7	12	7
3	7	8	10	9
4	7	10	9	11
5	6	21	16	18
6	8	25	19	25
7	8	29	16	22
8	7	17	11	18
9	9	15	13	16
10	11	10	16	17
11	14	8	14	14
12	16	11	18	14
13	14	25	21	15
14	12	18	15	11
15	15	10	15	13
16	10	9	10	10
17	12	15	9	14
18	11	11	13	15
19	13	7	17	14
20	9	18	21	12
21	9	9	13	17
22	14	10	16	15
23	15	10	18	11
24	8	11	15	15
25	15	14	20	11
26	13	10	18	17
27	11	10	11	15
28	15	14	15	20
29	21	17	17	21
30	16	12	13	18
31		14		41

Nota. La tabla representa las medias de concentraciones diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

Figura 20

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Nota. Representación de concentraciones diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación.

En la figura 20 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondiente en los meses de septiembre a diciembre en el punto de monitoreo ubicado en la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari”. Las medias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire TULSMA, en donde se presentan picos de concentración de pm 2.5 en el mes de octubre muy pronunciados de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 7 y de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 13 y para el 31 de diciembre de $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasando lo límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS, sin embargo, se mantienen dentro de la norma ecuatoriana de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidas para las 24 horas.

Tabla 21*Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_AAMPETRA_165968*

PM2.5 [ug/m ³]	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
Media Mensual	11	13	15	15
Mediana	9	11	13	14
Desv.est	7.81	9.53	8.09	21.16
Máximo	76	66	81	471
Fecha y Hora	29/09 09:00	24/10 10:00	20/11 7:00	31/12 23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación.

En la tabla 21 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación en la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA, en la cual se observan las concentraciones medias mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximas. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de septiembre, una media mensual de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de octubre y una media mensual de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de diciembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de diciembre con 471 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 31 a las 23:00 h.

4.3.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 22*Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_AAMPETRA_165968*

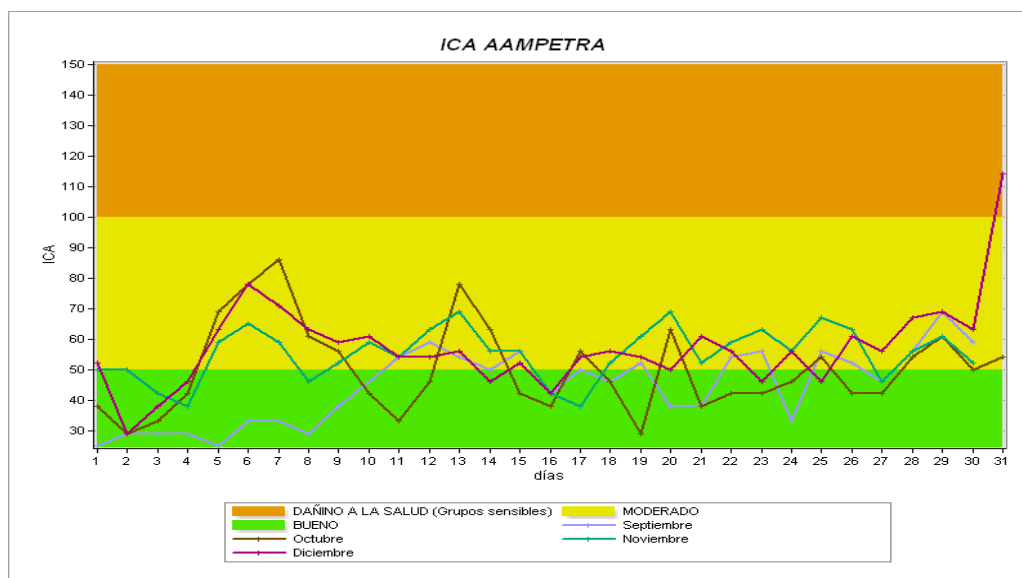
Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	25	38	50	52
2	29	29	50	29
3	29	33	42	38
4	29	42	38	46
5	25	69	59	63
6	33	78	65	78

ICA				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
7	33	86	59	71
8	29	61	46	63
9	38	56	52	59
10	46	42	59	61
11	54	33	54	54
12	59	46	63	54
13	54	78	69	56
14	50	63	56	46
15	56	42	56	52
16	42	38	42	42
17	50	56	38	54
18	46	46	52	56
19	52	29	61	54
20	38	63	69	50
21	38	38	52	61
22	54	42	59	56
23	56	42	63	46
24	33	46	56	56
25	56	54	67	46
26	52	42	63	61
27	46	42	46	56
28	56	54	56	67
29	69	61	61	69
30	59	50	52	63
31		54		114

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA. Fuente: La investigación

Figura 21

ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Nota. Representación de índices de calidad del aire en el punto de monitoreo en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación.

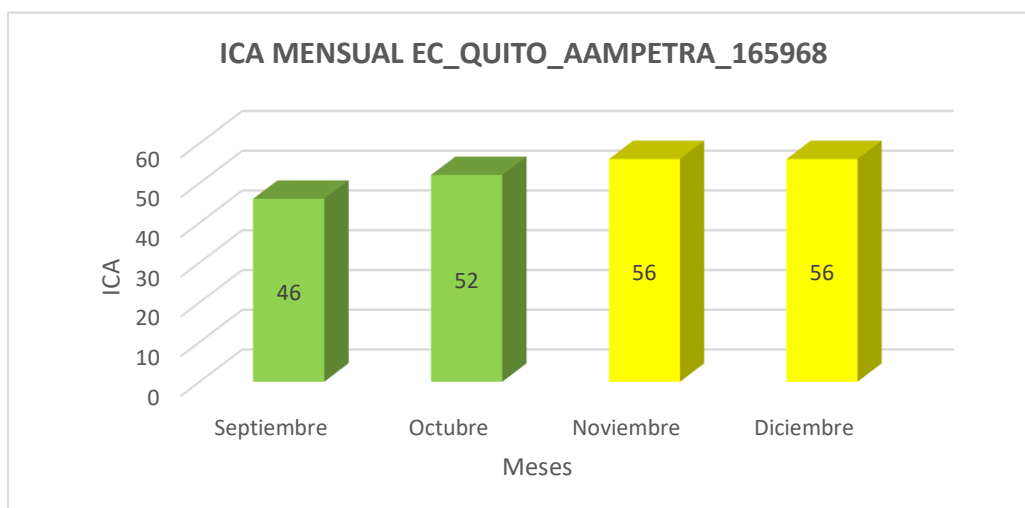
En la figura 21 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo ubicado dentro de Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que la calidad del aire del punto de monitoreo se encuentra dentro de un nivel bueno de 0-50 y moderado de 51 -100 de acuerdo con la representación de las concentraciones, sin embargo, se observa un pico máximo pronunciado el día 31 de diciembre con un índice de 114, evidenciando que la calidad del aire estuvo dentro de un nivel dañino para la salud de grupos sensibles.

Tabla 23
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_AAMPETRA_165968

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	46	52	56	56

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondientes a los meses septiembre-diciembre. Fuente: La investigación

Figura 22
ICA mensual septiembre a diciembre EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA del mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación.

En la figura 22 se representan los Índices de calidad de aire mensuales los cuales nos da como resultado que durante los 4 meses de investigación se registran en un rango bueno de 0-50 en los ICA mensuales de septiembre y octubre y de 50-100 un rango moderado de noviembre y diciembre del punto de monitoreo correspondiente a la correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA.

4.3.3. Humedad Relativa

Tabla 24

Medias diarias y mensual Humedad Relativa EC_QUITO_AAMPETRA_165968

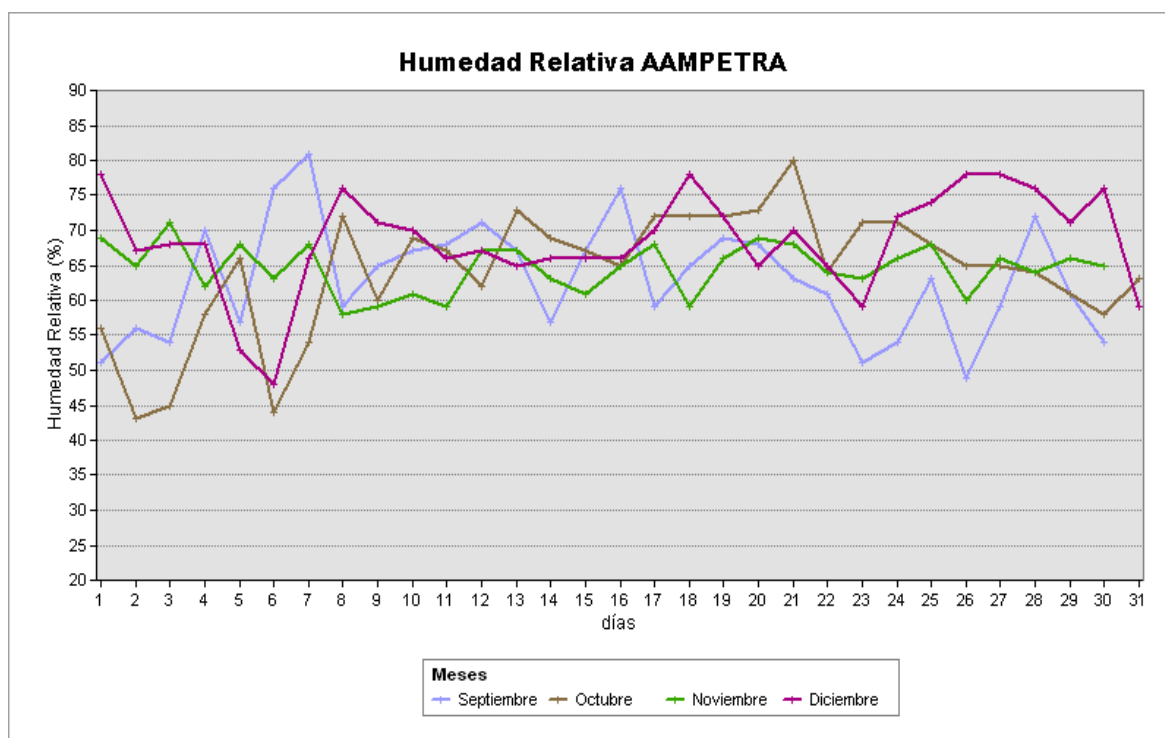
Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	45	56	69	78
2	53	43	65	67
3	63	45	71	68
4	70	58	62	68
5	57	66	68	59
6	76	67	63	60
7	81	66	68	66
8	59	72	58	76
9	65	60	59	71
10	56	50	61	70
11	59	48	59	66
12	67	62	67	67
13	67	73	67	65
14	57	69	63	66
15	67	67	61	66
16	76	65	65	66
17	59	72	68	70
18	65	72	59	78
19	69	72	66	72
20	68	73	69	65
21	63	80	68	70
22	61	64	64	65
23	51	71	63	59
24	54	71	66	72
25	63	68	68	74
26	49	65	60	78
27	59	65	66	78
28	72	64	64	76
29	76	61	66	71

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
30	65	58	65	76
31		63		59
Media	63	64	65	69

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

Figura 23

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Nota. Representación de Humedad relativa (%) diaria (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

En la figura 23 se representa el comportamiento de la humedad relativa de acuerdo con las medias diarias correspondientes a los meses de investigación. Se puede evidenciar que en los meses de septiembre, octubre y noviembre se presenta mayor humedad en el ambiente, sin embargo, en el mes de octubre se presencia un descenso de humedad de 43%. Dicho esto, la humedad relativa en el ambiente evidencia que existen mayores concentraciones de contaminantes en el ambiente ante la presencia de un porcentaje bajo de humedad y viceversa.

Tabla 25*Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa*

Meses	Humedad
Septiembre	0,1716
Octubre	0,3496
Noviembre	0,1040
Diciembre	-0,2038

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y humedad relativa correspondiente la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

En la tabla 25 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de septiembre, octubre y noviembre a diferencia del mes de diciembre donde fue inversamente proporcional.

4.3.4. Temperatura

Tabla 26*Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_AAMPETRA_165968*

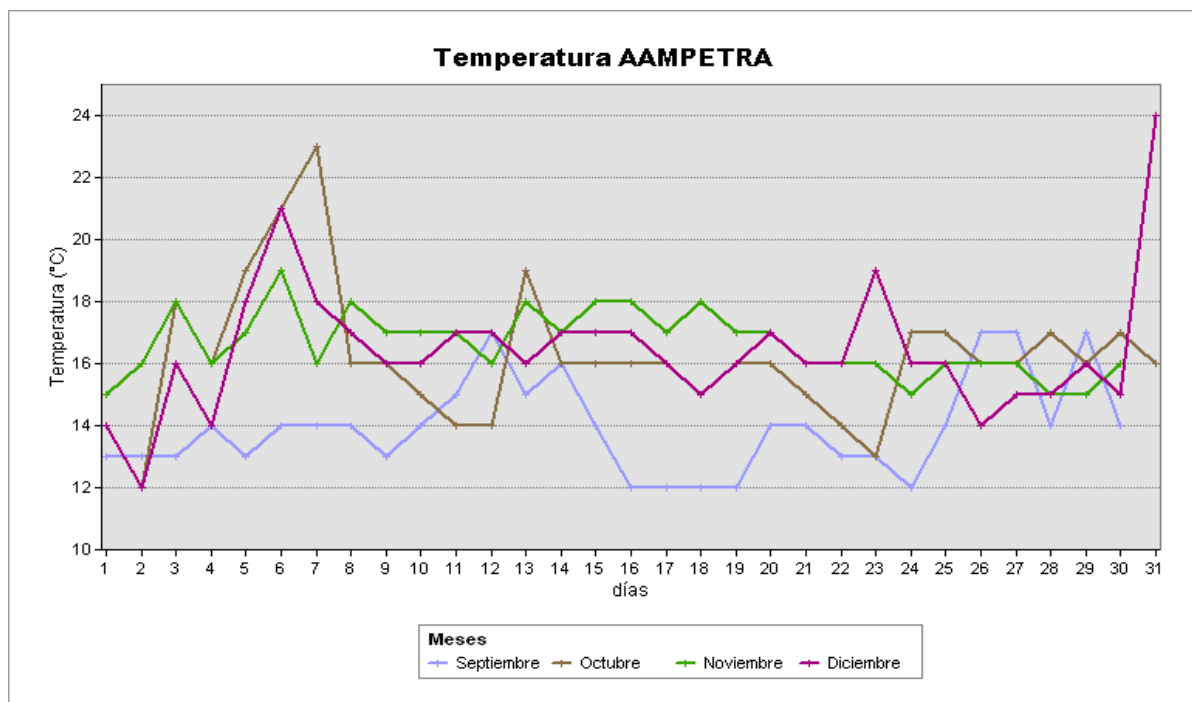
Días	Temperatura (°C)			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	13	14	15	14
2	13	12	16	12
3	13	18	18	16
4	12	16	16	14
5	13	19	17	18
6	12	21	19	21
7	13	23	16	18
8	14	16	18	17
9	14	16	17	16
10	14	15	17	16
11	13	14	17	17
12	14	14	16	17
13	14	19	18	16
14	13	16	17	17
15	12	16	18	17
16	12	16	18	17
17	12	16	17	16
18	12	15	18	15
19	12	16	17	16
20	14	16	17	17
21	14	15	16	16
22	13	14	16	16
23	13	13	16	19

Temperatura(°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
24	12	17	15	16
25	14	17	16	16
26	17	16	16	14
27	17	16	16	15
28	16	17	15	15
29	14	16	15	16
30	14	17	16	15
31		16		24
Media	13	16	17	16

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

Figura 24

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación.

En la figura 24 se representa las medias diarias de temperatura con respecto a los meses de investigación. Se puede observar que existen máximos de 19 °C y 23°C en los meses de octubre el día 7 y noviembre el día 23 sin embargo, se observa un incremento el día 31 de diciembre con 24 °C. Además, en el mes de septiembre se registran mínimos de 12 °C desde el día 16 al 19 reflejando una temperatura constante en esos días

Tabla 27*Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura*

Meses	Temperatura
Septiembre	0,2798
Octubre	0,7871
Noviembre	-0,0148
Diciembre	0,6962

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente la Academia Aeronáutica “Mayor Pedro Traversari” AAMPETRA Fuente: La investigación

En la tabla 27 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson la temperatura en el punto de monitoreo fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de septiembre, octubre y diciembre a diferencia del mes de noviembre donde fue inversamente proporcional.

4.4. Punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984 (Unidad Educativa Julio Tobar Donoso)

4.4.1. Material Particulado PM 2.5

Tabla 28*Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984*

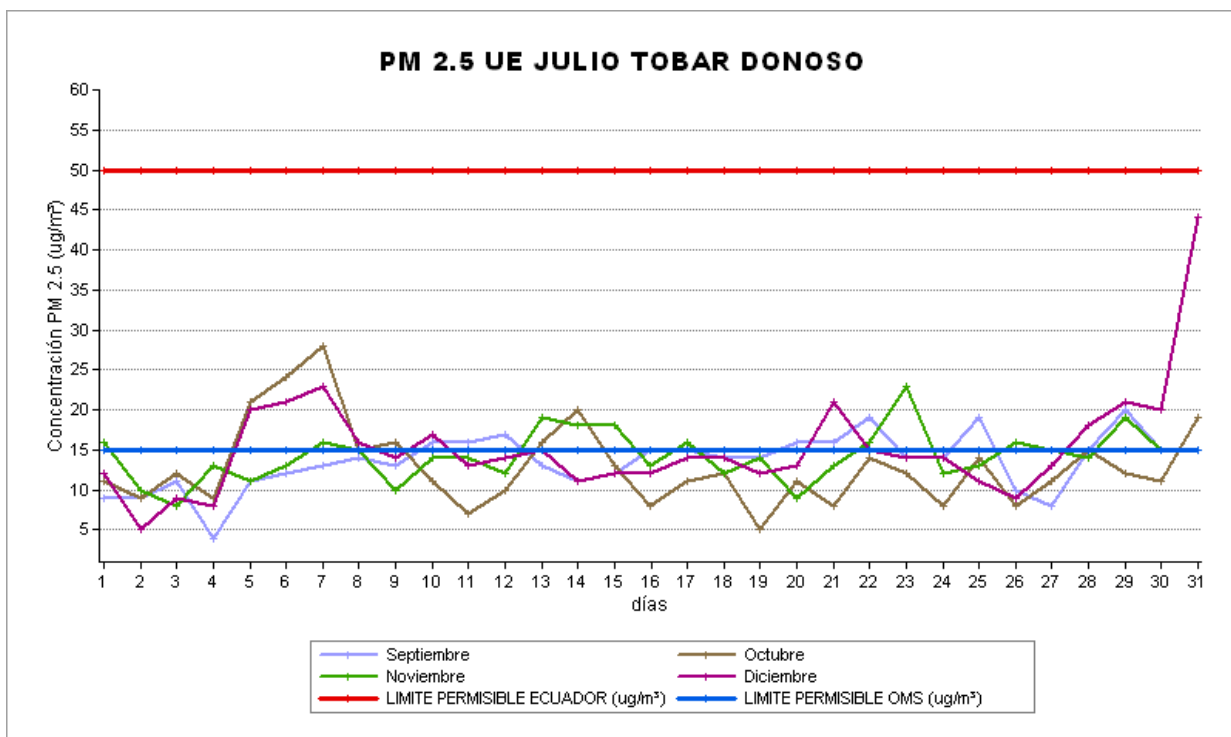
Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	9	11	16	12
2	9	9	10	5
3	11	12	8	9
4	4	9	13	8
5	11	21	11	20
6	12	24	13	21
7	13	28	16	23
8	14	15	15	16
9	13	16	10	14
10	16	11	14	17
11	16	7	14	13
12	17	10	12	14
13	13	16	19	15
14	11	20	18	11
15	12	13	18	12
16	15	8	13	12
17	15	11	16	14
18	14	12	12	14
19	14	5	14	12
20	16	11	9	13

Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
21	16	8	13	21
22	19	14	16	15
23	14	12	23	14
24	14	8	12	14
25	19	14	13	11
26	10	8	16	9
27	8	11	15	13
28	15	15	14	18
29	20	12	19	21
30	15	11	15	20
31		19		44

Nota. La tabla representa las medias de concentraciones diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

Figura 25

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984



Nota. Representación de concentraciones diarias de material 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación.

En la figura 25 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondiente al punto de monitoreo ubicado en la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Las medias fueron contrastadas en base a los límites

permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire TULSMA, en donde se presentan picos de concentración de pm 2.5 de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 7 de octubre y $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 31 de diciembre debido a la exposición de material particulado por la quema de los monigotes por fin de año y diversos materiales que emiten el contaminante, sobrepasando los límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS, sin embargo se mantienen dentro de la norma ecuatoriana de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante las 24 horas.

Tabla 29

Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984

PM2.5 [ug/m³]	Septiembre [ug/m³]	Octubre [ug/m³]	Noviembre [ug/m³]	Diciembre [ug/m³]
Media Mensual	13	13	14	15
Mediana	12	11	13	13
Desv.est	8.81	8.49	8.82	14.19
Máximo	88	55	104	229
Fecha y Hora	29/09 21:00	10/10 17:00	03/11 18:00	31/12 23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado del punto de monitoreo correspondientes de los meses de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la tabla 29 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación, en la cual se observan las concentraciones medias, mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximos de acuerdo al punto de monitoreo. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mes de septiembre y octubre, una media mensual de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mes de noviembre y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mes de diciembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de diciembre con $229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 31 a las 23:00 horas.

4.4.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 30

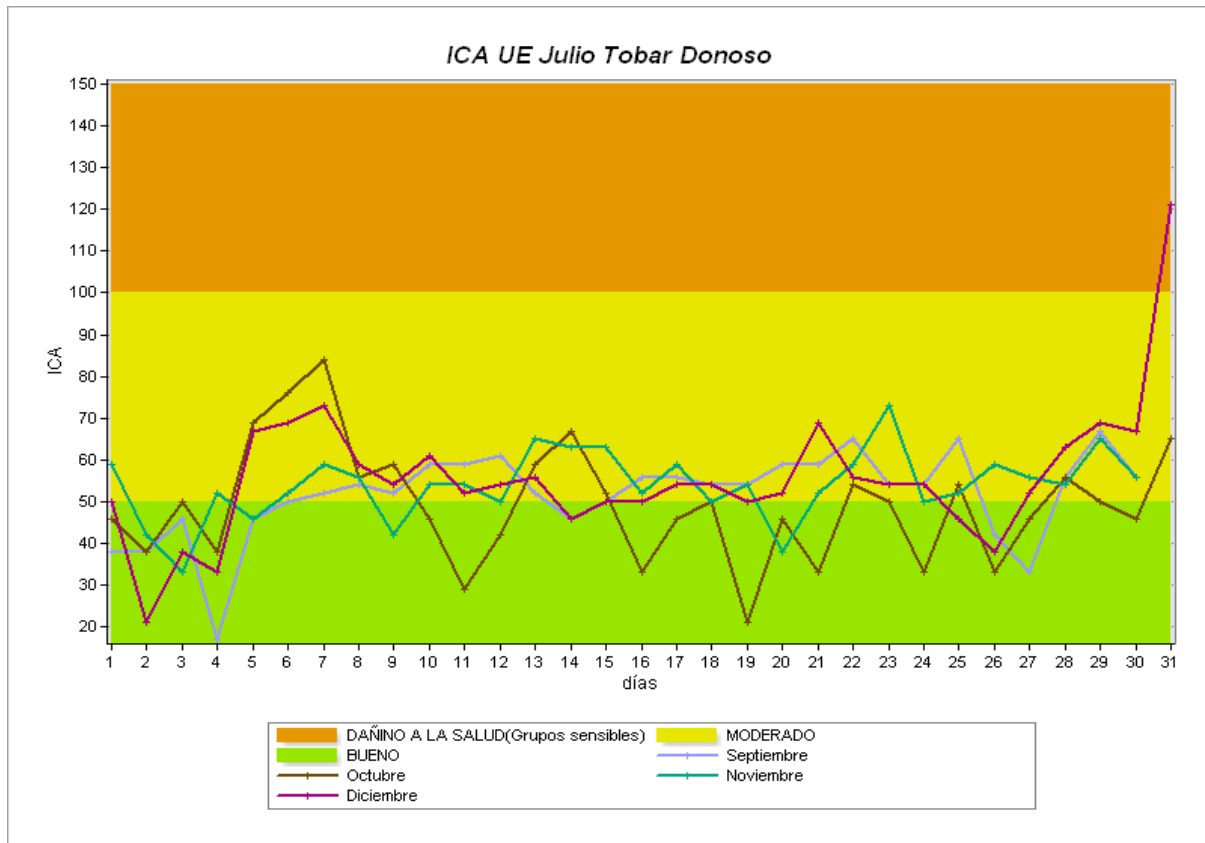
Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984

Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	38	46	59	50
2	38	38	42	21
3	46	50	33	38
4	17	38	52	33
5	46	69	46	67
6	50	76	52	69
7	52	84	59	73
8	54	56	56	59
9	52	59	42	54
10	59	46	54	61
11	59	29	54	52
12	61	42	50	54
13	52	59	65	56
14	46	67	63	46
15	50	52	63	50
16	56	33	52	50
17	56	46	59	54
18	54	50	50	54
19	54	21	54	50
20	59	46	38	52
21	59	33	52	69
22	65	54	59	56
23	54	50	73	54
24	54	33	50	54
25	65	54	52	46
26	42	33	59	38
27	33	46	56	52
28	56	56	54	63
29	67	50	65	69
30	56	46	56	67
31		65		121

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación.

Figura 26

ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984



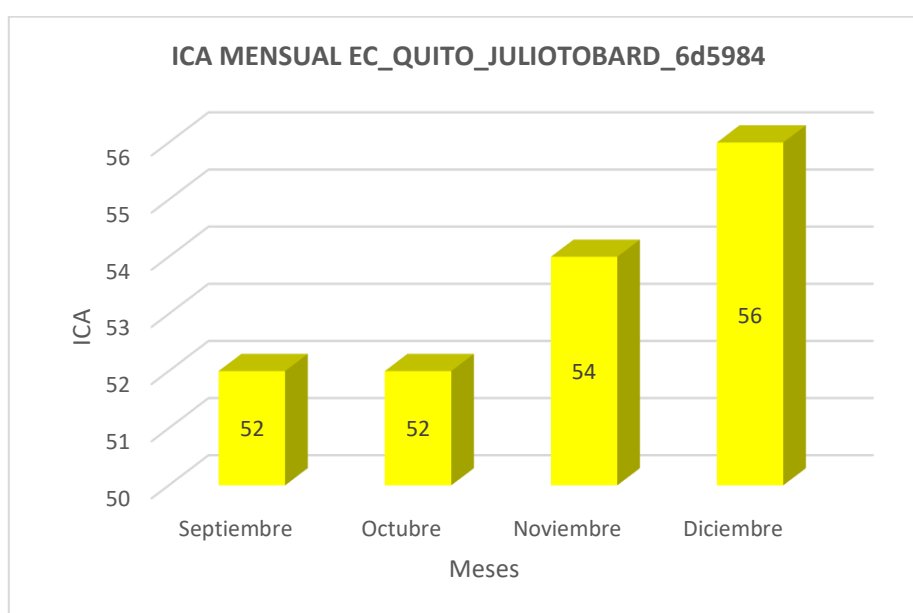
Nota. Representación de índices de calidad del aire diarios en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la figura 26 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que se encuentra en su mayoría en un rango moderado de 50-100 es decir aceptable de acuerdo con los niveles de ICA, sin embargo, se evidencia un incremento considerable el día 31 de diciembre que se encuentra en un nivel dañino para la salud de grupos sensibles en un nivel ICA de 100-150 debido a las festividades de fin de año.

Tabla 31*Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984*

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	52	52	54	56

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire del punto de monitoreo correspondientes al mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

Figura 27*ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984*

Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo del mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la figura 27 se representan los Índices de calidad de aire mensuales los cuales nos da como resultado que durante los 4 meses de investigación se registran en un rango moderado de 50-100 en los meses de septiembre, noviembre y diciembre mientras que en el mes de octubre en un rango bueno de 0-50 siendo saludable el ICA del punto de monitoreo.

4.4.3. Humedad Relativa

Tabla 32

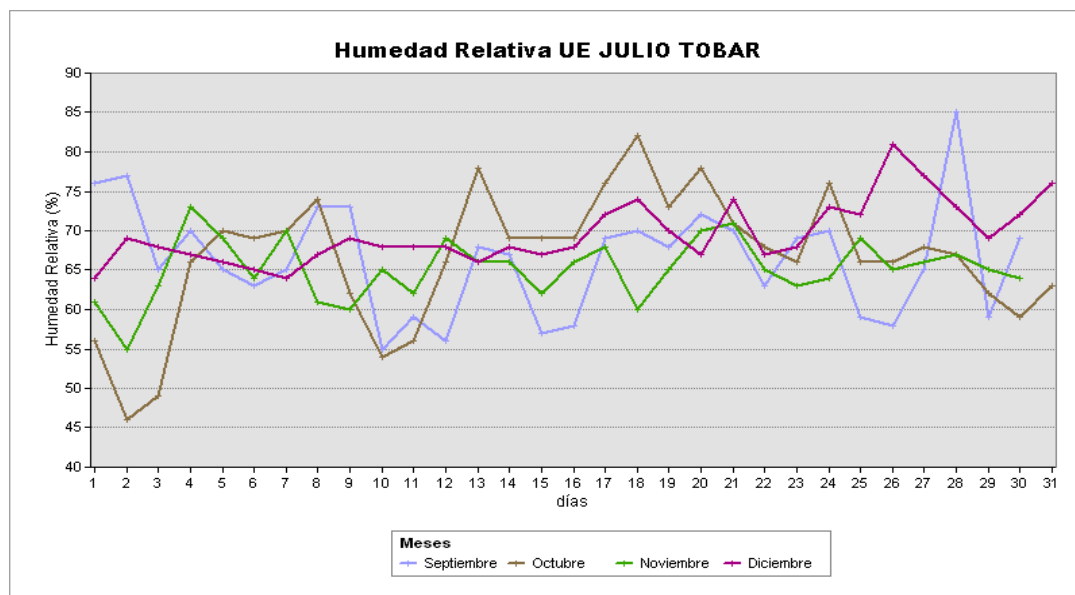
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	76	56	61	64
2	77	46	55	69
3	65	49	63	68
4	70	66	73	67
5	65	70	69	66
6	63	69	64	65
7	65	70	70	64
8	73	74	61	67
9	73	62	60	69
10	55	54	65	68
11	59	56	62	68
12	56	66	69	68
13	68	78	66	66
14	67	69	66	68
15	57	69	62	67
16	58	69	66	68
17	69	76	68	72
18	70	82	60	74
19	68	73	65	70
20	72	78	70	67
21	70	71	71	74
22	63	68	65	67
23	69	66	63	68
24	70	76	64	73
25	59	66	69	72
26	58	66	65	81
27	65	68	66	77
28	85	67	67	73
29	59	62	65	69
30	69	59	64	72
31		63		76
Media	66	67	65	69

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

Figura 28

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984



Nota. Representación de Humedad Relativa (%) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la figura 28 se representa las medias diarias de la humedad relativa del punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984 el cual nos registra un máximo de 85 % el día 28 de septiembre y un mínimo de 46% el día 2 de octubre. Dicho esto, la humedad relativa es inversamente proporcional a la concentración de PM 2.5, lo que quiere decir que, mientras mayor sea la humedad relativa menores van a ser las concentraciones de material particulado 2.5.

Tabla 33

Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	-0,2894
Octubre	0,0517
Noviembre	0,0085
Diciembre	0,1396

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y Humedad Relativa correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la tabla 33 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo fue directamente

proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de octubre, noviembre y diciembre a diferencia del mes de septiembre donde fue inversamente proporcional.

4.4.4. Temperatura

Tabla 34

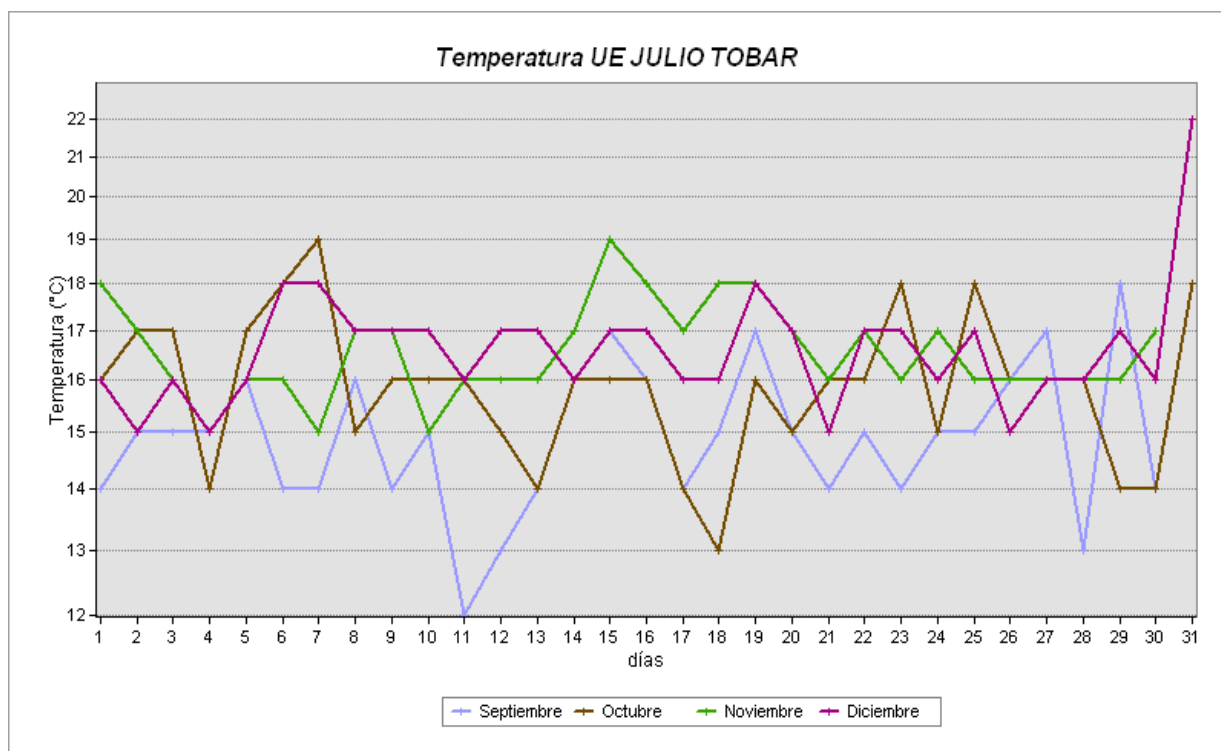
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984

Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	14	16	18	16
2	15	17	17	15
3	15	17	16	16
4	15	14	15	15
5	16	17	16	16
6	14	18	16	18
7	14	19	15	18
8	16	15	17	17
9	14	16	17	17
10	15	16	15	17
11	12	16	16	16
12	13	15	16	17
13	14	14	16	17
14	16	16	17	16
15	17	16	19	17
16	16	16	18	17
17	14	14	17	16
18	15	13	18	16
19	17	16	18	18
20	15	15	17	17
21	14	16	16	15
22	15	16	17	17
23	14	18	16	17
24	15	15	17	16
25	15	18	16	17
26	16	16	16	15
27	17	16	16	16
28	13	16	16	16
29	18	14	16	17
30	14	14	17	16
31		18		22
Media	15	16	16	17

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

Figura 29

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la figura 29 se representa las medias diarias de temperatura las misma que se puede observar que existen máximos de 19 °C en los meses de octubre el día 7 y noviembre el día 15, sin embargo, se observa un incremento el día 31 de diciembre con 22 °C además que para el mes de septiembre se registran mínimos de 12 °C. Mientras mayores temperaturas existan se van a presentar mayores concentraciones de PM 2.5 existiendo una relación directamente proporcional entre la temperatura y la concentración de PM 2.5.

Tabla 35

Coficiente de correlación de Pearson Temperatura

Meses	Temperatura
Septiembre	0,0360
Octubre	0,4780
Noviembre	0,0004
Diciembre	0,7550

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la tabla 35 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson la temperatura en el punto de monitoreo fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los 4 meses de investigación.

4.5. Punto de Monitoreo EC_QUITO_ISTPET_6d537c (Instituto Traversari)

4.5.1. Material Particulado PM2.5

Tabla 36

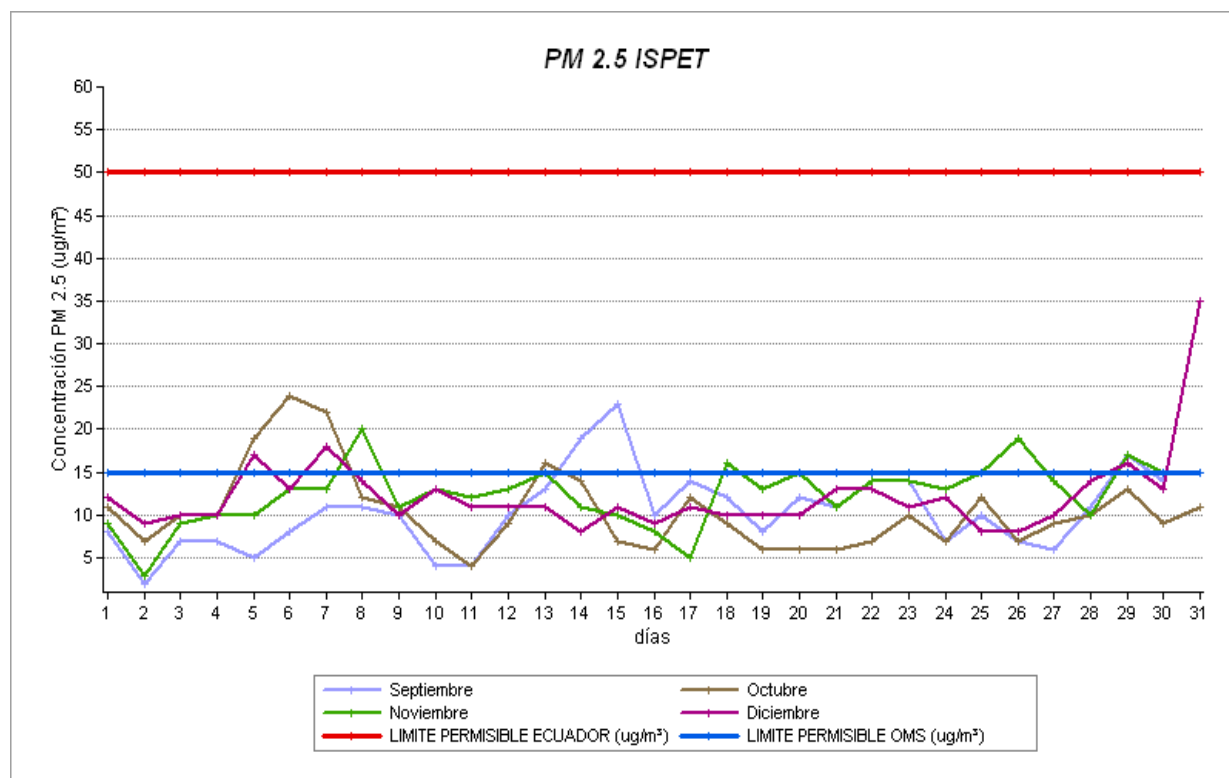
Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c

Días	PM 2.5			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	8	11	9	12
2	2	7	3	9
3	7	10	9	10
4	7	10	10	10
5	5	19	10	17
6	8	24	13	13
7	11	22	13	18
8	11	12	20	14
9	10	11	11	10
10	4	7	13	13
11	4	4	12	11
12	10	9	13	11
13	13	16	15	11
14	19	14	11	8
15	23	7	10	11
16	10	6	8	9
17	14	12	5	11
18	12	9	16	10
19	8	6	13	10
20	12	6	15	10
21	11	6	11	13
22	14	7	14	13
23	14	10	14	11
24	7	7	13	12
25	10	12	15	8
26	7	7	19	8
27	6	9	14	10
28	11	10	10	14
29	17	13	17	16
30	14	9	15	13
31		11		35

Nota. La tabla representa las medias diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

Figura 30

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c



Nota. Representación de concentraciones diarias de material 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

En la figura 30 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondiente en los meses de septiembre a diciembre en el punto de monitoreo ubicado en el ISTPET. Las medias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire TULSMA, en donde se presentan picos de concentración de PM 2.5 en los 4 meses de monitoreo de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 15 de septiembre, de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 6 de octubre, de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 26 de noviembre y para el 31 de diciembre de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasando lo límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS, sin embargo se mantiene dentro de la norma ecuatoriana de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidas para las 24 horas.

Tabla 37*Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_ISTPET_6d537c*

PM2.5 [ug/m ³]	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
Media Mensual	10	10	12	12
Mediana	9	8	11	11
Desv.est	7.68	8.89	8.14	10.44
Máximo	74	142	131	116
Fecha y Hora	22/09 11:00	06/10 13:00	08/11 11:00	31/12 23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado del punto de monitoreo correspondientes de los meses de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación.

En la tabla 37 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación, en la cual se observan las concentraciones medias, mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximos de acuerdo con el punto de monitoreo. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de septiembre y octubre y una media mensual de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mes de noviembre y diciembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de octubre con 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 6 a las 13:00 h.

4.5.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 38*Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_ISTPET_6d537c*

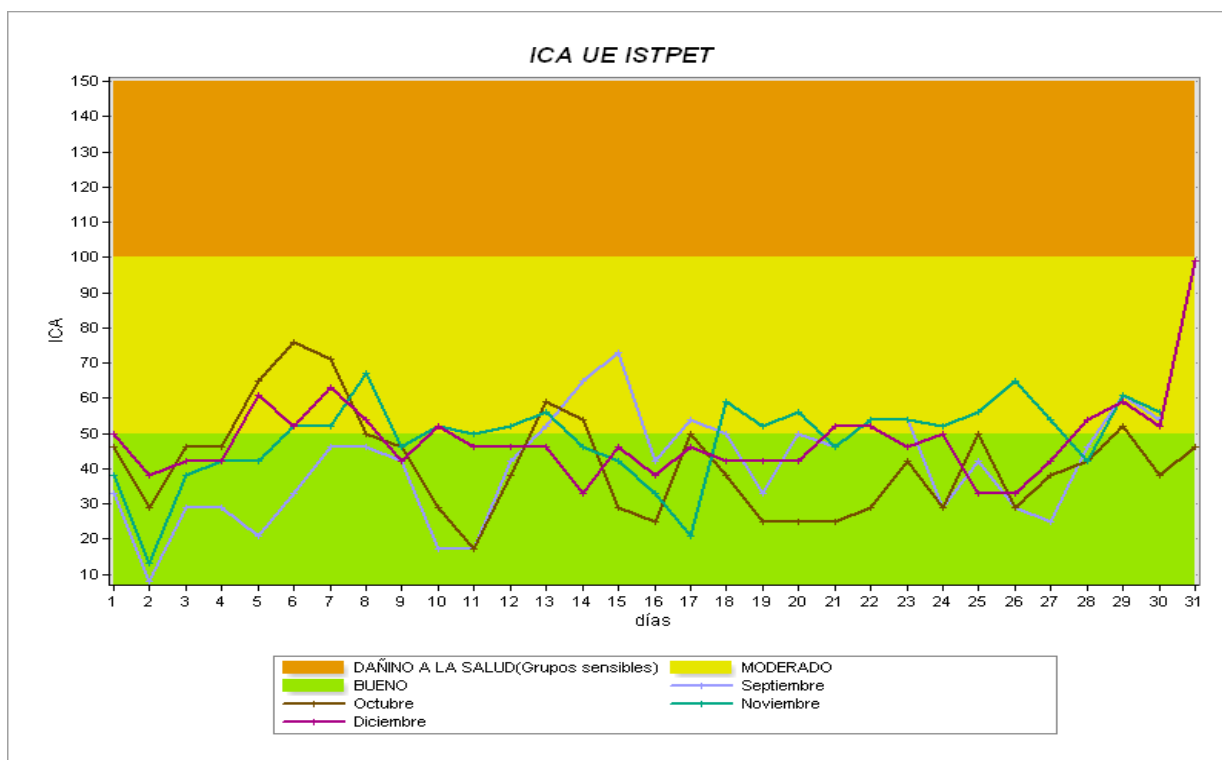
Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	33	46	38	50
2	8	29	13	38
3	29	46	38	42
4	29	46	42	42
5	21	65	42	61
6	33	76	52	52
7	46	71	52	63
8	46	50	67	54
9	42	46	46	42
10	17	29	52	52
11	17	17	50	46
12	42	38	52	46
13	52	59	56	46
14	65	54	46	33

ICA				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
15	73	29	42	46
16	42	25	33	38
17	54	50	21	46
18	50	38	59	42
19	33	25	52	42
20	50	25	56	42
21	46	25	46	52
22	54	29	54	52
23	54	42	54	46
24	29	29	52	50
25	42	50	56	33
26	29	29	65	33
27	25	38	54	42
28	46	42	42	54
29	61	52	61	59
30	54	38	56	52
31		46		99

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente al ISTPET. Fuente: La investigación

Figura 31

ICA diario en el punto de monitoreo EC_QUIOTO_ISTPET_6d537c



Nota. Representación de índices de calidad del aire diarios en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Julio Tobar Donoso. Fuente: La investigación

En la figura 31 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo ISTPET. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que se encuentra en su mayoría en un rango bueno de 0-50 es decir, la calidad del aire tiene un riesgo poco o nada para la salud y es considerable de acuerdo con los niveles de ICA, sin embargo, se evidencia un incremento considerable que sube a un a un rango de 50-100 moderado y para el día 31 de diciembre se observa un incremento hasta el 99 ICA debido a las festividades de fin de año.

Tabla 39

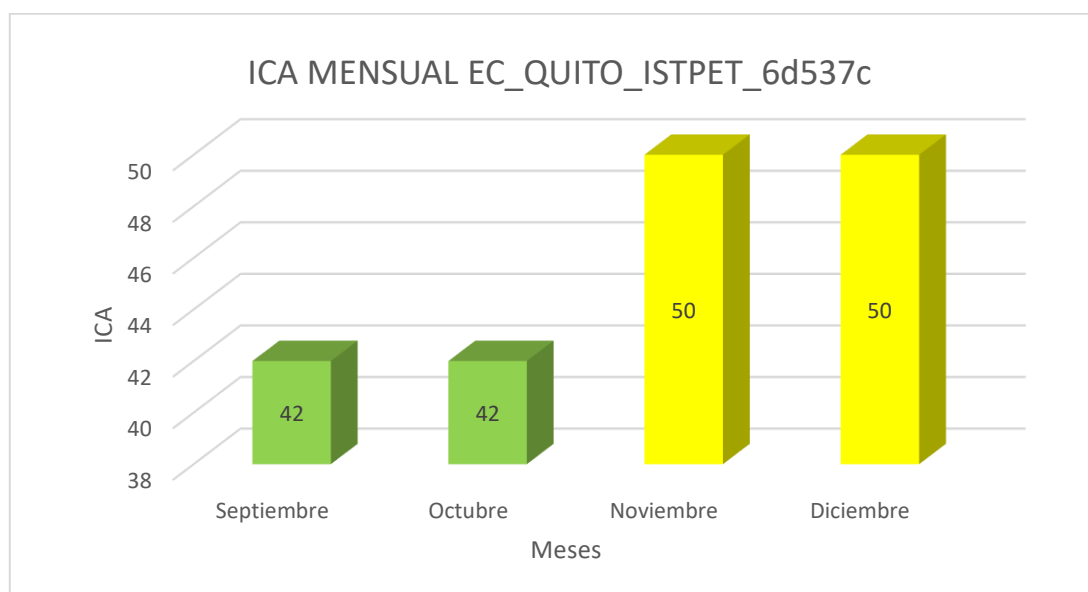
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_ISTPET_6d537c

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	42	42	50	50

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire del punto de monitoreo correspondientes a ISTPET Fuente: La investigación.

Figura 32

ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_ISTPET_6d537c



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo del mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la figura 32 se representan los Índices de calidad de aire mensuales los cuales nos da como resultado que durante los 4 meses de investigación se registran en un rango bueno de 0-50 en los ICA mensuales de septiembre y octubre y de 50-100 un rango moderado de noviembre y diciembre del punto de monitoreo.

4.5.3. Humedad Relativa

Tabla 40

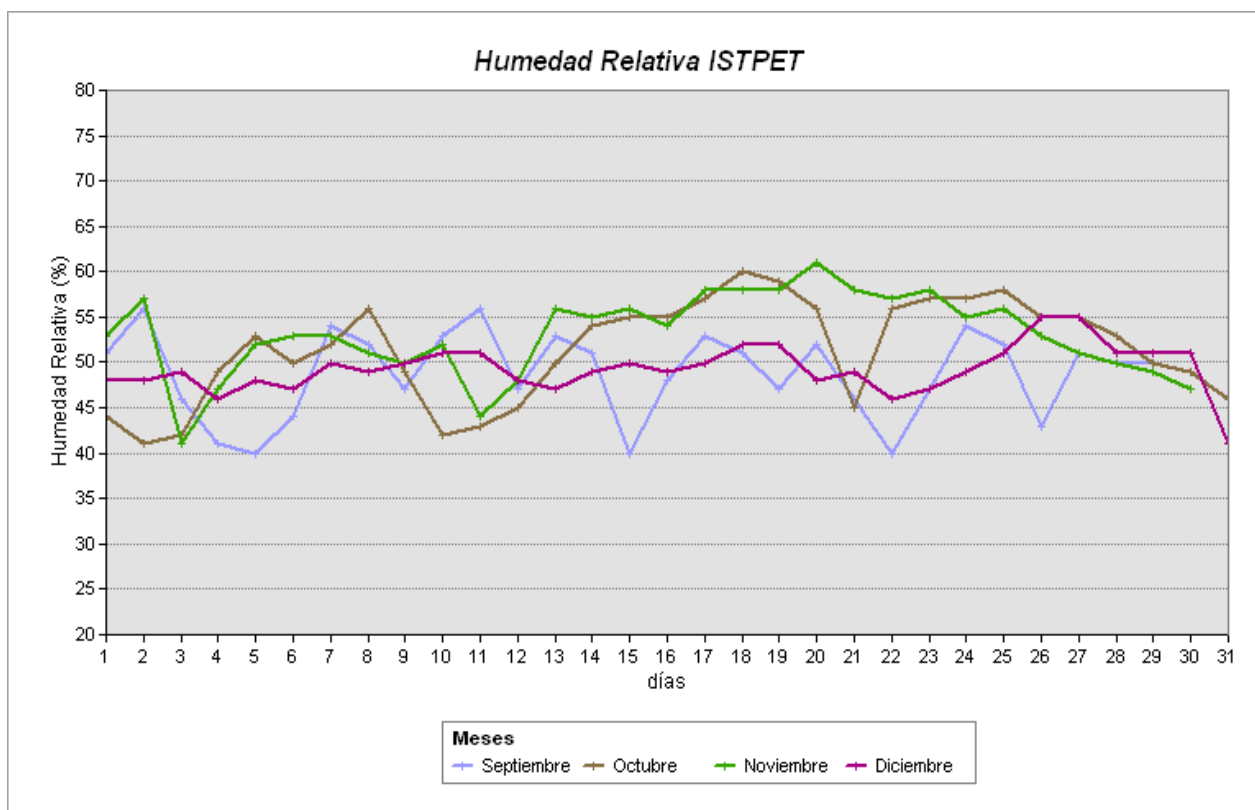
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_ISTPET_6d537c

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	51	44	53	48
2	56	41	57	48
3	46	42	41	49
4	41	49	47	46
5	40	53	52	48
6	44	50	53	47
7	54	52	53	50
8	52	56	51	49
9	47	49	50	50
10	53	42	52	51
11	56	43	44	51
12	47	45	48	48
13	53	50	56	47
14	51	54	55	49
15	40	55	56	50
16	48	55	54	49
17	53	57	58	50
18	51	60	58	52
19	47	59	58	52
20	52	56	61	48
21	46	45	58	49
22	40	56	57	46
23	47	57	58	47
24	54	57	55	49
25	52	58	56	51
26	43	55	53	55
27	51	55	51	55
28	50	53	50	51
29	50	50	49	51
30	49	49	47	51
31		46		41
Media	49	51	53	49

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

Figura 33

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_ISTPET_6d537c



Nota. Representación de Humedad Relativa (%) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

En la figura 33 se representa las medias diarias de la humedad relativa del punto de monitoreo, el cual nos registra un máximo 61% el día 20 de noviembre y un mínimo de 40% el día 15 de septiembre. Dicho esto, la humedad relativa es inversamente proporcional a la concentración de PM 2.5, lo que quiere decir que, mientras mayor sea la humedad relativa menores van a ser las concentraciones de material particulado 2.5 presentándose de acuerdo a la gráfica generada dentro del monitoreo en las 24 h.

Tabla 41
Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	-0,2070
Octubre	0,0447
Noviembre	-0,0130
Diciembre	-0,5629

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y humedad relativa correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

En la tabla 41 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue inversamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de septiembre, noviembre y diciembre a diferencia del mes de octubre donde fue directamente proporcional.

4.5.4. Temperatura

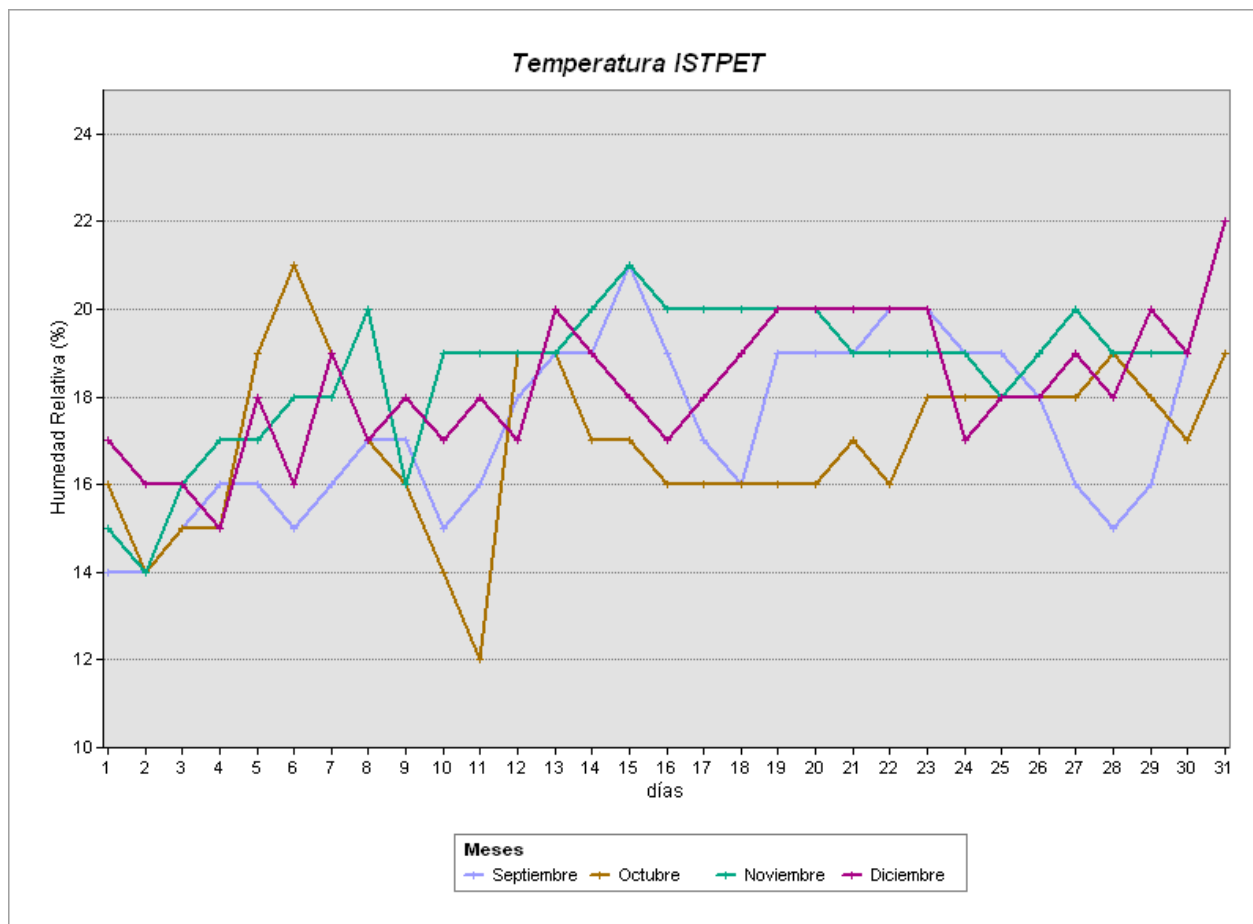
Tabla 42
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_ISTPET_6d537c

Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	14	16	15	17
2	14	14	14	16
3	15	15	16	16
4	16	15	17	15
5	16	19	17	18
6	15	21	18	16
7	16	19	18	19
8	17	17	20	17
9	17	16	16	18
10	15	14	19	17
11	16	12	19	18
12	18	19	19	17
13	19	19	19	20
14	19	17	20	19
15	21	17	21	18
16	19	16	20	17
17	17	16	20	18
18	16	16	20	19
19	19	16	20	20
20	19	16	20	20
21	19	17	19	20
22	20	16	19	20
23	20	18	19	20
24	19	18	19	17
25	19	18	18	18
26	18	18	19	18
27	16	18	20	19
28	15	19	19	18
29	16	18	19	20
30	19	17	19	19
31		19		22
Media	17	17	19	18

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

Figura 34

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_ISTPET_6d537c



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a ISTPET.
Fuente: La investigación.

En la figura 34 se representa las medias diarias de temperatura las misma que se puede observar que existen máximos en los 4 meses de la investigación de 21 °C en los meses de septiembre día 15, octubre el día 6 y noviembre el día 15, sin embargo, se observa un incremento no tan pronunciado el día 31 de diciembre con 22 °C además que, para el mes de octubre se registraron mínimos de 12 °C. Mientras mayores temperaturas existan se van a presentar mayores concentraciones de PM 2.5 existiendo una relación directamente proporcional entre la temperatura y la concentración de PM 2.5.

Tabla 43*Coefficiente de correlación de Pearson Temperatura*

Meses	Temperatura
Septiembre	0,6044
Octubre	0,6450
Noviembre	0,4536
Diciembre	-0,0302

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a ISTPET. Fuente: La investigación

En la tabla 43 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de septiembre, octubre y noviembre a diferencia del mes de diciembre donde fue inversamente proporcional.

4.6. Punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8 (Unidad Educativa Particular Católica "RAFAEL BUCHELI")

4.6.1. Material Particulado PM 2.5

Tabla 44*Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8*

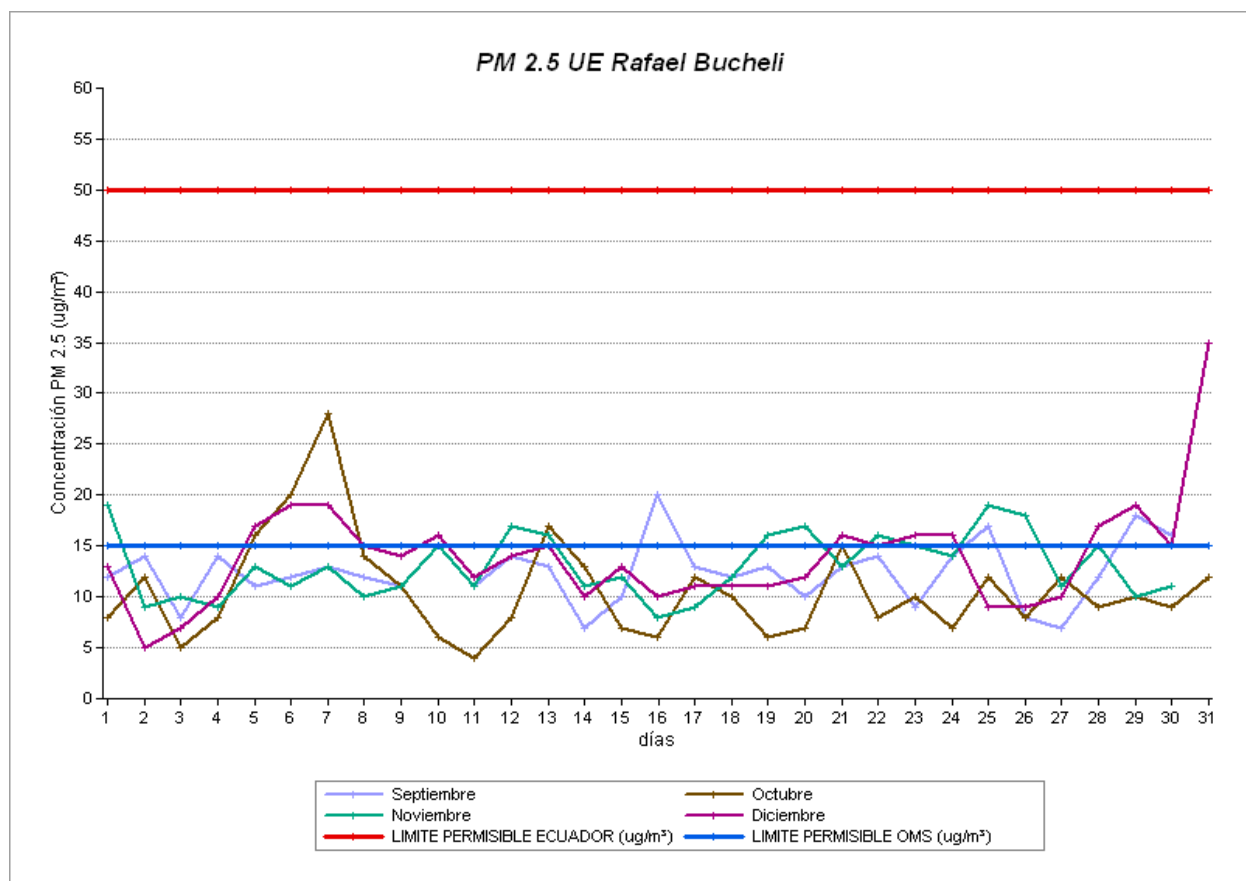
Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	12	8	19	13
2	14	12	9	5
3	8	5	10	7
4	14	8	9	10
5	11	16	13	17
6	12	20	11	19
7	13	28	13	19
8	12	14	10	15
9	11	11	11	14
10	15	6	15	16
11	11	4	11	12
12	14	8	17	14
13	13	17	16	15
14	7	13	11	10
15	10	7	12	13
16	20	6	8	10
17	13	12	9	11
18	12	10	12	11
19	13	6	16	11
20	10	7	17	12

PM 2.5				
Días	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
21	13	15	13	16
22	14	8	16	15
23	9	10	15	16
24	14	7	14	16
25	17	12	19	9
26	8	8	18	9
27	7	12	11	10
28	12	9	15	17
29	18	10	10	19
30	16	9	11	15
31		12		36

Nota. La tabla representa las medias diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

Figura 35

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Nota. Representación de concentraciones diarias de material 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

En la figura 35 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondiente en los meses de septiembre a diciembre en el punto de monitoreo ubicado en Unidad Educativa Rafael Bucheli. Las medias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire TULSMA, en donde se presentan picos de concentración de pm 2.5 de en los 4 meses de monitoreo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 16 de septiembre, $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 7 de octubre , de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 27 de noviembre y para el 31 de diciembre de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasando lo límites permisibles de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS, sin embargo se mantiene dentro de la norma ecuatoriana de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidas para las 24 horas.

Tabla 45

Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8

PM2.5 [ug/m³]	Septiembre [ug/m³]	Octubre [ug/m³]	Noviembre [ug/m³]	Diciembre [ug/m³]
Media	12	11	13	14
Mediana	10	8	11	12
Desv.est	9.24	7.99	7.45	10.91
Máximo	86	91	60	132
Fecha y Hora	25/09 14:00	07/10 17:00	01/11 08:00	31/12 23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado del punto de monitoreo correspondientes de los meses de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la tabla 45 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación, en la cual se observan las concentraciones medias, mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximos de acuerdo con el punto de monitoreo. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de septiembre, de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de octubre , de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de noviembre y una media mensual de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mes de diciembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de octubre con $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 31 a la 23:00 h.

4.6.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 46

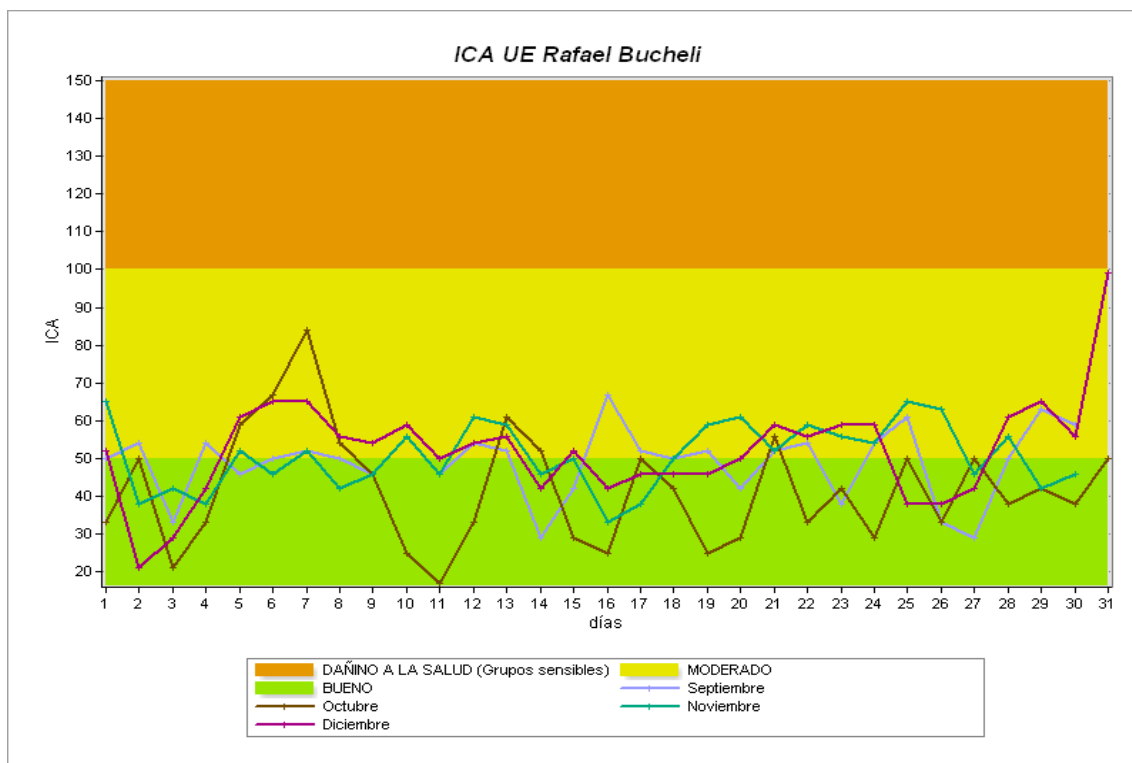
Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8

Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	50	33	65	52
2	54	50	38	21
3	33	21	42	29
4	54	33	38	42
5	46	59	52	61
6	50	67	46	65
7	52	84	52	65
8	50	54	42	56
9	46	46	46	54
10	56	25	56	59
11	46	17	46	50
12	54	33	61	54
13	52	61	59	56
14	29	52	46	42
15	42	29	50	52
16	67	25	33	42
17	52	50	38	46
18	50	42	50	46
19	52	25	59	46
20	42	29	61	50
21	52	56	52	59
22	54	33	59	56
23	38	42	56	59
24	54	29	54	59
25	61	50	65	38
26	33	33	63	38
27	29	50	46	42
28	50	38	56	61
29	63	42	42	65
30	59	38	46	56
31		50		99

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

Figura 36

ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Nota. Representación de índices de calidad del aire diarios en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación.

En la figura 36 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo Unidad Educativa Rafael Bucheli. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que se encuentra en su mayoría en un rango bueno de 0-50 es decir la calidad el aire tiene un riesgo poco o nada para la salud y es considerable de acuerdo con los niveles de ICA, sin embargo, se evidencia un incremento considerable que sube a un rango de 50-100 moderado en los 4 meses y para el día 31 de diciembre se observa un incremento hasta el 99 ICA debido a las festividades de fin de año.

Tabla 47

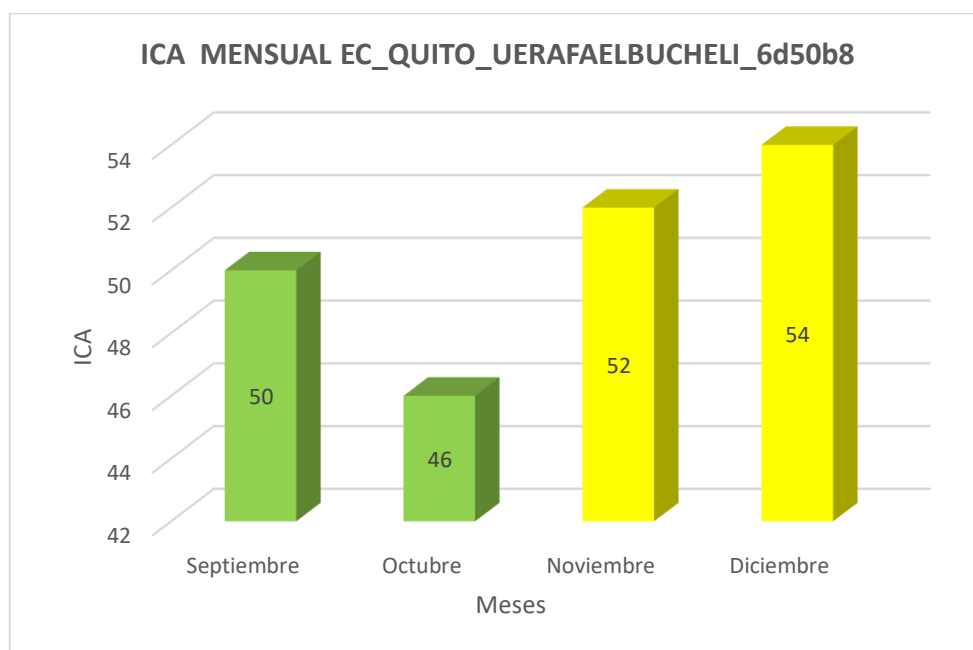
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	50	46	52	54

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire del punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

Figura 37

ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo del mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación.

En la figura 37 se representan los Índices de calidad de aire mensuales los cuales nos da como resultado que durante los 4 meses de investigación se registran en un rango bueno de 0-50 en los ICA mensuales de septiembre y octubre y de 50-100 un rango moderado de noviembre y diciembre del punto de monitoreo.

4.6.3. Humedad Relativa

Tabla 48

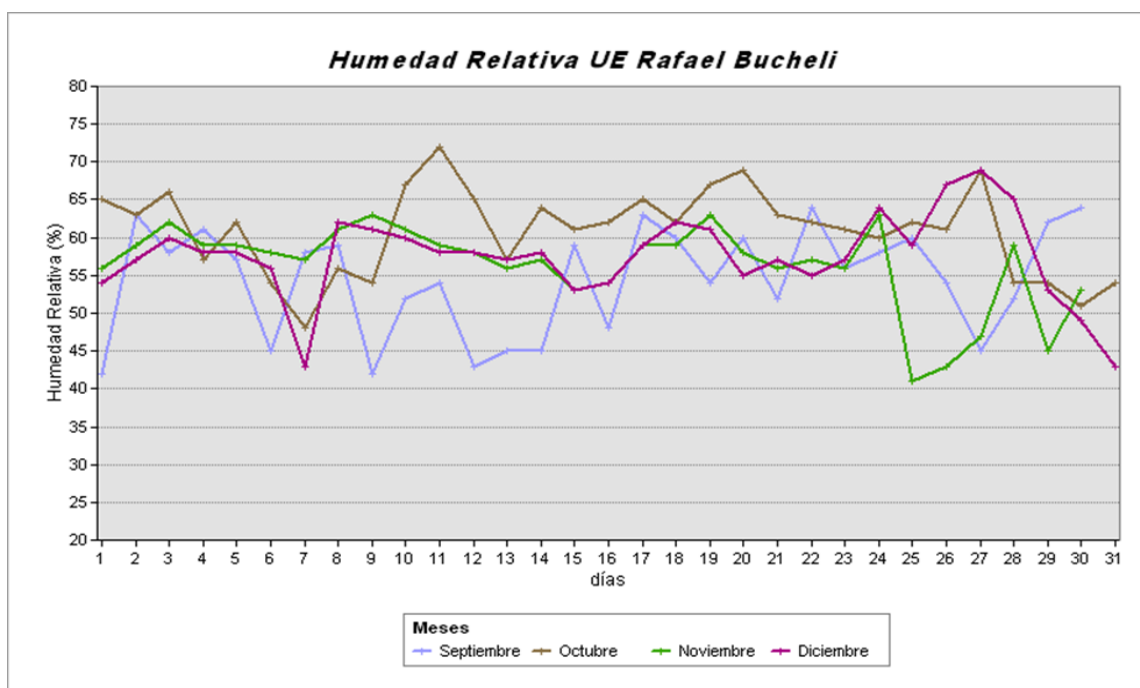
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	42	65	56	54
2	63	63	59	57
3	58	66	62	60
4	61	57	59	58
5	57	62	59	58
6	45	54	58	56
7	58	48	57	43
8	59	56	61	62
9	42	54	63	61
10	52	67	61	60
11	54	72	59	58
12	43	65	58	58
13	45	57	56	57
14	45	64	57	58
15	59	61	53	53
16	48	62	54	54
17	63	65	59	59
18	60	62	59	62
19	54	67	63	61
20	60	69	58	55
21	52	63	56	57
22	64	62	57	55
23	56	61	56	57
24	58	60	63	64
25	60	62	41	59
26	54	61	43	67
27	45	69	47	69
28	52	54	59	65
29	62	54	45	53
30	64	51	53	49
31		54		43
Media	55	61	56	57

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondientes a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

Figura 38

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Nota. Representación de Humedad Relativa (%) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

En la figura 38 se representa las medias diarias de la humedad relativa del punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8 el cual nos registra un máximo 72% el día 11 de octubre y un mínimo de 41% el día 25 de noviembre. Dicho esto, la humedad relativa es inversamente proporcional a la concentración de PM 2.5, lo que quiere decir que, mientras mayor sea la humedad relativa menores van a ser las concentraciones de material particulado 2.5.

Tabla 49

Coficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	0,2417
Octubre	-0,5583
Noviembre	-0,2304
Diciembre	-0,5494

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y Humedad Relativa correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

En la tabla 49 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante el mes de septiembre a diferencia de los meses de octubre, noviembre y diciembre donde fue inversamente proporcional.

4.6.4. Temperatura

Tabla 50

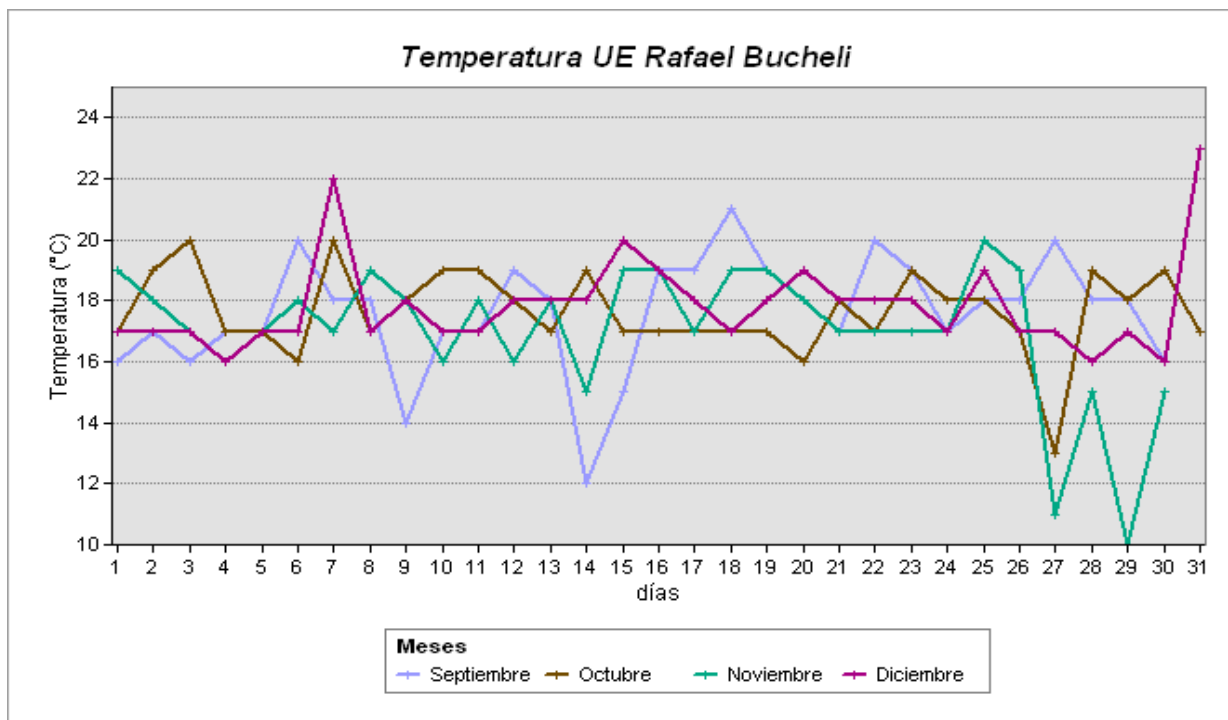
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8

Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16	17	19	17
2	17	19	18	17
3	16	20	17	17
4	17	17	16	16
5	17	17	17	17
6	20	16	18	17
7	18	20	17	22
8	18	17	19	17
9	14	18	18	18
10	17	19	16	17
11	17	19	18	17
12	19	18	16	18
13	18	17	18	18
14	12	19	15	18
15	15	17	19	20
16	19	17	19	19
17	19	17	17	18
18	21	17	19	17
19	19	17	19	18
20	18	16	18	19
21	17	18	17	18
22	20	17	17	18
23	19	19	17	18
24	17	18	17	17
25	18	18	20	19
26	18	17	19	17
27	20	13	11	17
28	18	19	15	16
29	18	18	10	17
30	16	19	15	16
31		17		23
Media	18	18	17	18

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en el punto de monitoreo a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

Figura 39

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

En la figura 39 se representa las medias diarias de temperatura las misma que se puede observar que existen máximos en el mes de diciembre de 22°C el día 7, sin embargo, se observa un incremento no tan pronunciado el día 31 del mismo mes con 23 °C además que para el mes de noviembre se registran mínimos de 10 °C. Mientras mayores temperaturas existan se van a presentar mayores concentraciones de PM 2.5 existiendo una relación directamente proporcional entre la temperatura y las concentraciones de PM 2.5 concordando con otras investigaciones que relacionan estas dos variables.

Tabla 51

Coficiente de correlación de Pearson Temperatura

Meses	Temperatura
Septiembre	0,2426
Octubre	0,0005
Noviembre	0,2823
Diciembre	0,5151

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a la Unidad Educativa Rafael Bucheli. Fuente: La investigación

En la tabla 49 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los 4 meses de investigación.

4.7. Punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4 (Academia Militar General Miguel Iturrealde)

4.7.1. Material Particulado PM 2.5

Tabla 52

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4

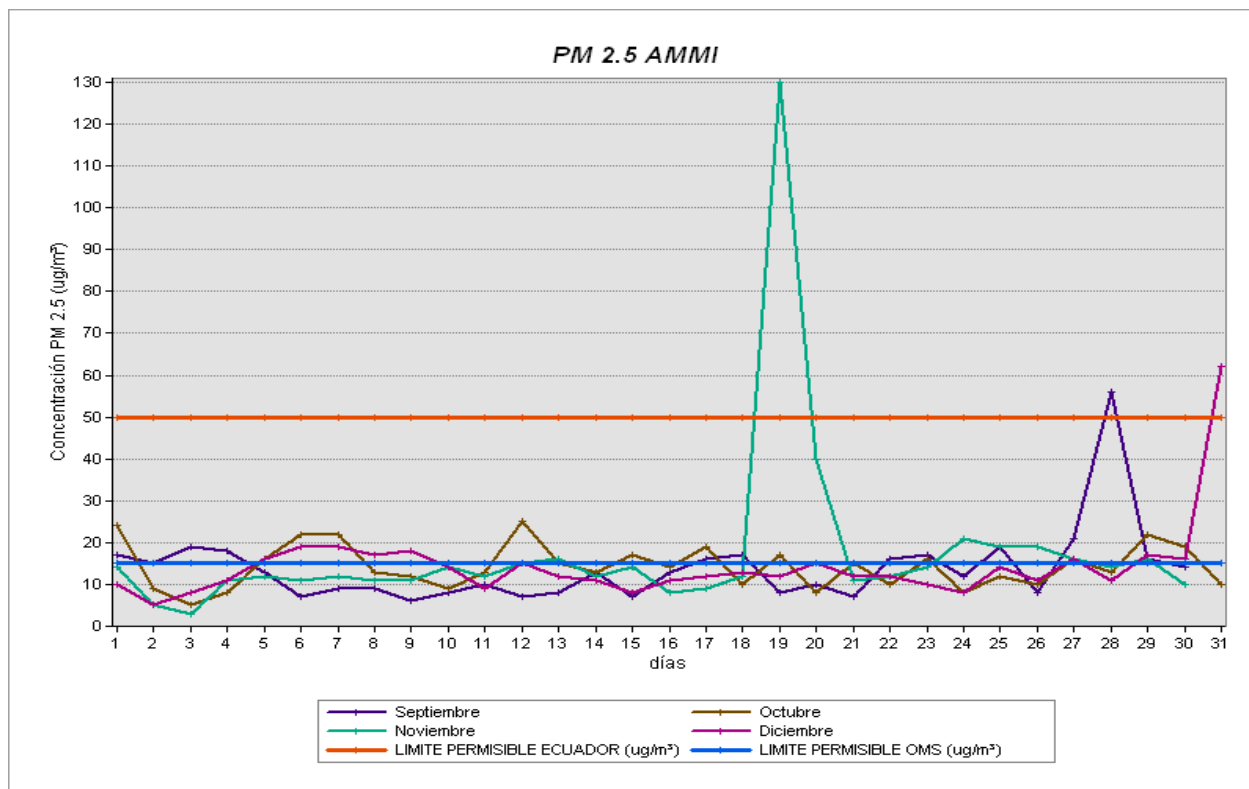
Días	PM 2.5			
	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
1	17	24	14	10
2	15	9	5	5
3	19	5	3	8
4	18	8	11	11
5	13	16	12	16
6	7	22	11	19
7	9	22	12	19
8	9	13	11	17
9	6	12	11	18
10	8	9	14	14
11	10	13	12	9
12	7	25	15	15
13	8	15	16	12
14	13	13	12	11
15	7	17	14	8
16	13	14	8	11
17	16	19	9	12
18	17	10	12	13
19	8	17	130	12
20	10	8	40	15
21	7	15	11	12
22	16	10	12	12
23	17	16	14	10
24	12	8	21	8
25	19	12	19	14
26	8	10	19	11
27	21	16	16	16
28	56	13	14	11
29	16	22	16	17

PM 2.5				
Días	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
30	14	19	10	16
31		10		62

Nota. La tabla representa las medias diarias de material particulado 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

Figura 40

Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4



Nota. Representación de concentraciones diarias de material 2.5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

En la figura 40 se representa el comportamiento de las concentraciones medias diarias del material particulado 2.5 correspondiente en los meses de septiembre a diciembre en el punto de monitoreo ubicado en la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Las medias fueron contrastadas en base a los límites permisibles de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire TULSMA, en donde se presentan picos de concentración de pm 2.5 de en el día 28 mes de septiembre de 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el día 19 del mes de noviembre de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el para el 31 de diciembre de 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasando lo limites permisibles de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ según la OMS y la norma ecuatoriana de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidas para las 24 horas.

Tabla 53*Resultados monitoreo PM2.5 EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4*

PM2.5 [ug/m ³]	Septiembre [ug/m ³]	Octubre [ug/m ³]	Noviembre [ug/m ³]	Diciembre [ug/m ³]
Media Mensual	14	14	18	14
Mediana	8	8	11	12
Desv.est	9.42	14.77	63.06	19.83
Máximo	106	303	1269	360
Fecha y Hora	28/09 18:00	01/10 13:00	19/11 19:00	31/12 23:00

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos de material particulado del punto de monitoreo correspondientes de los meses de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la tabla 53 se representan los resultados obtenidos de PM 2.5 de acuerdo con el monitoreo durante los 4 meses de investigación, en la cual se observan las concentraciones medias, mensuales, mediana, desviación estándar y concentraciones máximas de acuerdo con el punto de monitoreo. De acuerdo con las concentraciones medias mensuales se obtuvo una media de 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los meses de septiembre, octubre y diciembre, una media mensual de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mes de noviembre. La concentración máxima de contaminante se registró el mes de noviembre con 1269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 19 a las 19:00 h.

4.7.2. Índice de Calidad del Aire

Tabla 54*Resultados cálculo ICA diarios EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4*

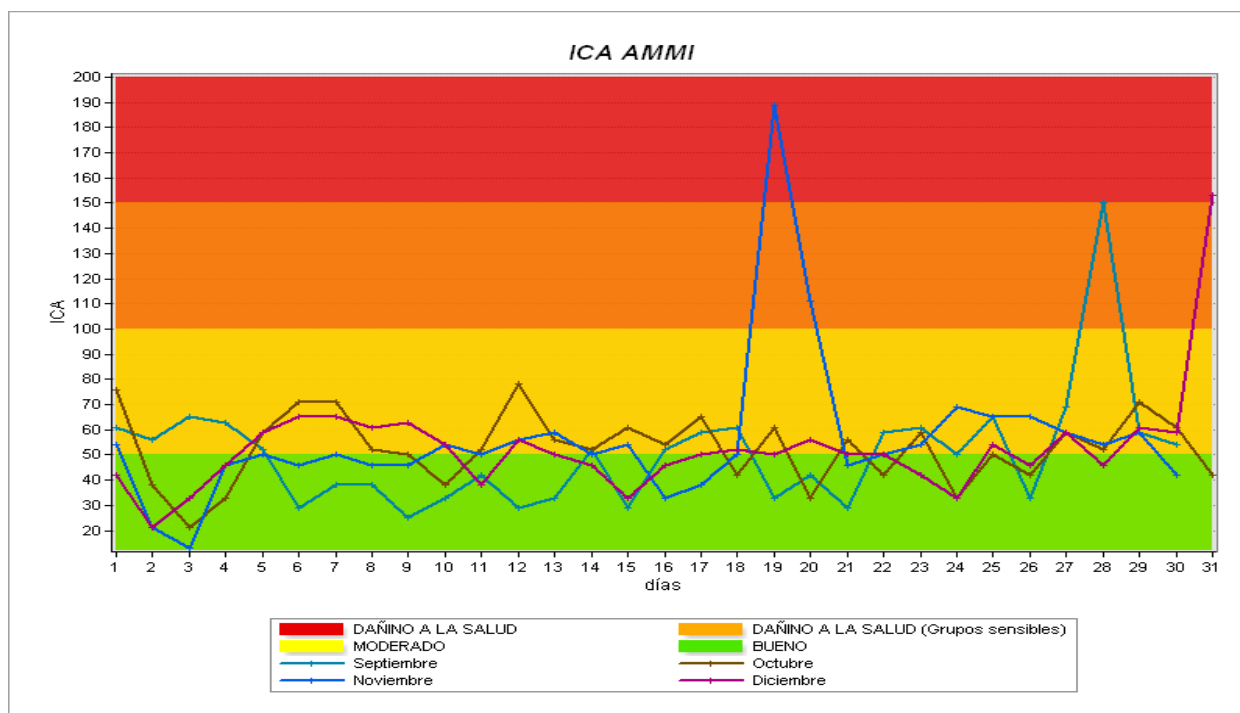
Días	ICA			
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	61	76	54	42
2	56	38	21	21
3	65	21	13	33
4	63	33	46	46
5	52	59	50	59
6	29	71	46	65
7	38	71	50	65
8	38	52	46	61
9	25	50	46	63
10	33	38	54	54
11	42	52	50	38
12	29	78	56	56
13	33	56	59	50
14	52	52	50	46

ICA				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
15	29	61	54	33
16	52	54	33	46
17	59	65	38	50
18	61	42	50	52
19	33	61	189	50
20	42	33	111	56
21	29	56	46	50
22	59	42	50	50
23	61	59	54	42
24	50	33	69	33
25	65	50	65	54
26	33	42	65	46
27	69	59	59	59
28	150	52	54	46
29	59	71	59	61
30	54	61	42	59
31		42		153

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

Figura 41

ICA diario del punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4



Nota. Representación de índices de calidad del aire diarios en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

En la figura 41 se representa los resultados del cálculo del índice de calidad del aire obtenidos a partir de las concentraciones medias diarias durante los meses de investigación en el punto de monitoreo Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Los resultados diarios fueron contrastados en base a los niveles de calidad del aire, en donde se observa que se encuentra picos sumamente altos en los meses de septiembre 150 ICA, noviembre 189 ICA y diciembre 153 referentes a un nivel dañino para la salud de 151-200, es decir que se pueden presenciar efectos en la salud de los estudiantes los mismo que pertenecen a grupos sensibles que, a largo plazo experimentarán efectos graves a la salud.

Tabla 55

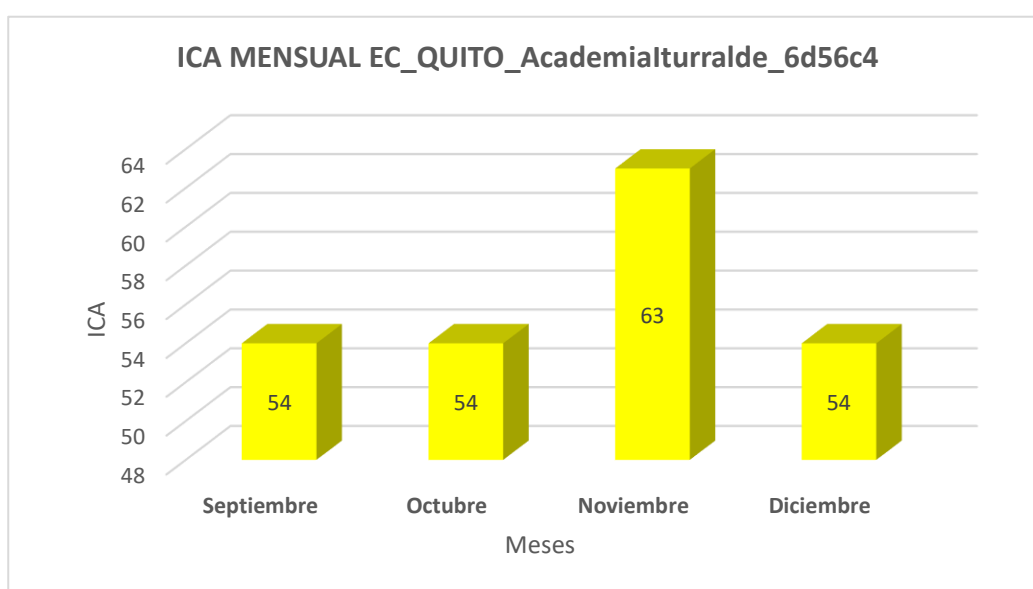
Resultados cálculo mensual ICA EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4

ICA MENSUAL				
ICA	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media Mensual	54	54	63	54

Nota. La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo mensual del índice de calidad del aire del punto de monitoreo correspondientes a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

Figura 42

ICA mensual de septiembre a diciembre EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4



Nota. Representación de índices de calidad del aire mensual del punto de monitoreo del mes de septiembre a diciembre. Fuente: La investigación

En la figura 47 se representan los índices de calidad de aire mensuales, los cuales fueron calculados en base a las concentraciones medias diarias durante los 4 meses de investigación. Dicho esto, los ICA se registran en un rango de 51-100 equivalente a moderado del punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI.

4.7.3. Humedad Relativa

Tabla 56

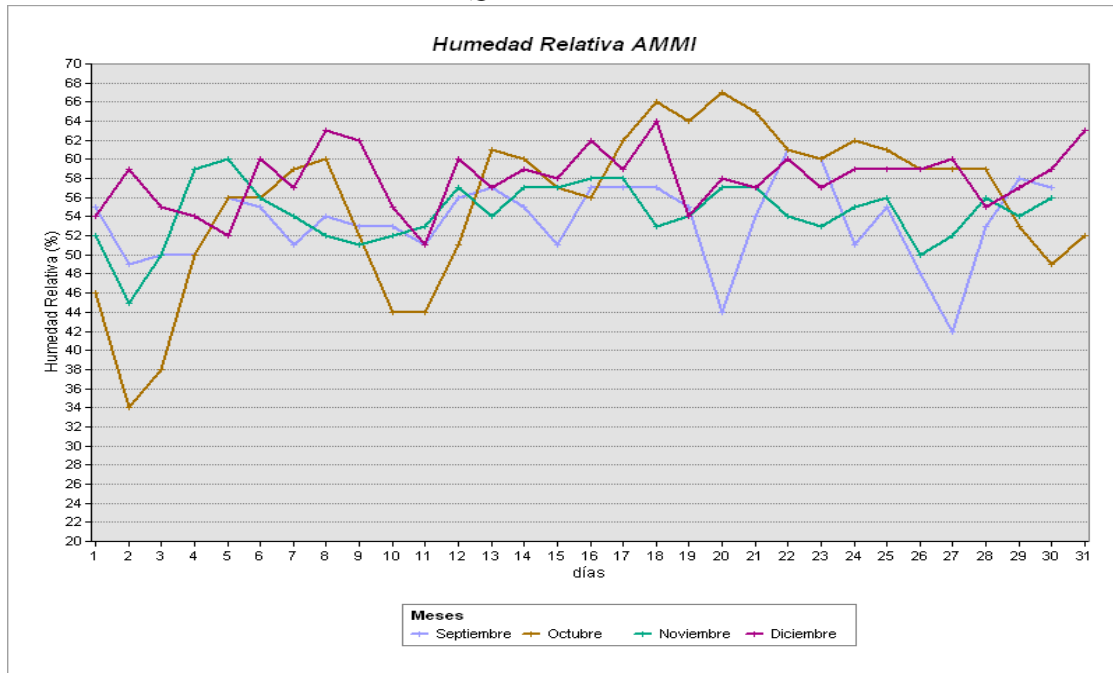
Medias diarias y mensuales Humedad Relativa EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4

Humedad Relativa (%)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	55	46	52	54
2	49	34	45	59
3	50	38	50	55
4	50	50	59	54
5	56	56	60	52
6	55	56	56	60
7	51	59	54	57
8	54	60	52	63
9	53	52	51	62
10	53	44	52	55
11	51	44	53	51
12	56	51	57	60
13	57	61	54	57
14	55	60	57	59
15	51	57	57	58
16	57	56	58	62
17	57	62	58	59
18	57	66	53	64
19	55	64	54	54
20	44	67	57	58
21	54	65	57	57
22	61	61	54	60
23	60	60	53	57
24	51	62	55	59
25	55	61	56	59
26	48	59	50	59
27	42	59	52	60
28	53	59	56	55
29	58	53	54	57
30	57	49	56	59
31		52		63
Media	54	56	54	58

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de Humedad Relativa (%) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

Figura 43

Medias Diarias Humedad relativa EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4



Nota. Representación de Humedad Relativa (%) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

En la figura 48 se representa las medias diarias de la humedad relativa del punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIturralde_6d56c4 el cual nos registra un máximo 67% el día 20 de octubre y un mínimo de 34% el día 2 del mismo mes.

Tabla 57

Coefficiente de correlación de Pearson Humedad Relativa

Meses	Humedad
Septiembre	-0,0115
Octubre	0,0858
Noviembre	0,0375
Diciembre	0,3623

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y Humedad Relativa correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

En la tabla 57 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson el porcentaje de humedad relativa en el punto de monitoreo, fue directamente

proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de octubre a diciembre a diferencia del mes de septiembre donde fue inversamente proporcional.

4.7.4. Temperatura

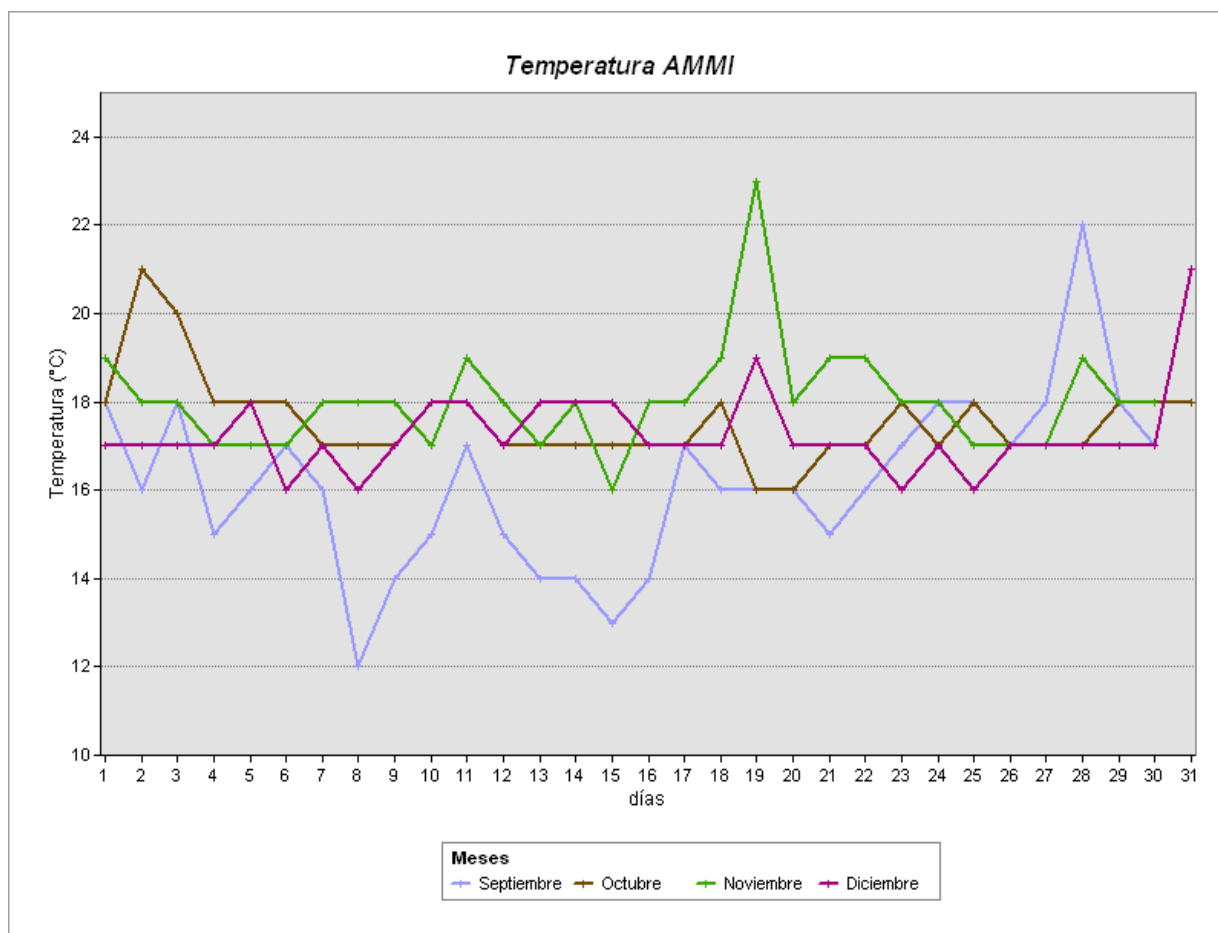
Tabla 58
Medias diarias y mensuales de temperatura EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4

Temperatura (°C)				
Días	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18	18	19	17
2	16	21	18	17
3	18	20	18	17
4	15	18	17	17
5	16	18	17	18
6	17	18	17	16
7	16	17	18	17
8	12	17	18	16
9	14	17	18	17
10	15	18	17	18
11	17	18	19	18
12	15	17	18	17
13	14	17	17	18
14	14	17	18	18
15	13	17	16	18
16	14	17	18	17
17	17	17	18	17
18	16	18	19	17
19	16	16	23	19
20	16	16	18	17
21	15	17	19	17
22	16	17	19	17
23	17	18	18	16
24	18	17	18	17
25	18	18	17	16
26	17	17	17	17
27	18	17	17	17
28	22	17	19	17
29	18	18	18	17
30	17	18	18	17
31		18		21
Media	16	18	18	17

Nota. La tabla representa las medias diarias y mensuales de temperatura (°C) en el punto de monitoreo correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturrealde AMMI. Fuente: La investigación

Figura 44

Medias Diarias temperatura EC_QUITO_AcademiaIturrealde_6d56c4



Nota. Representación de Temperatura (°C) diaria en el punto de monitoreo correspondiente a a la Academia Militar General Miguel Iturrealde AMMI. Fuente: La investigación

En la figura 44 se representa las medias diarias de temperatura las mismas que se puede observar que existen máximos en el mes de septiembre de 22°C el día 28, en el mes de noviembre de 23°C el día 19 y en el mes de diciembre de 21°C, además que para el mes de septiembre se registran mínimos de 12°C de temperatura. Dicho esto, mientras mayores temperaturas existan se van a presentar mayores concentraciones de PM 2.5 con una relación directamente proporcional.

Tabla 59

Coeficiente de correlación de Pearson Temperatura

Meses	Temperatura
Septiembre	0,7172
Octubre	-0,2285
Noviembre	0,7181

Meses	Temperatura
Diciembre	0,6084

Nota. La tabla representa los resultados del cálculo de correlación de Pearson entre medias diarias de PM 2.5 y temperatura correspondiente a la Academia Militar General Miguel Iturralde AMMI. Fuente: La investigación

En la tabla 59 se puede observar que de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson la temperatura en el punto de monitoreo fue directamente proporcional a las concentraciones diarias de PM 2.5 durante los meses de septiembre, noviembre y diciembre a diferencia del mes de octubre donde fue inversamente proporcional.

4.8. Socialización de resultados y percepción estudiantil

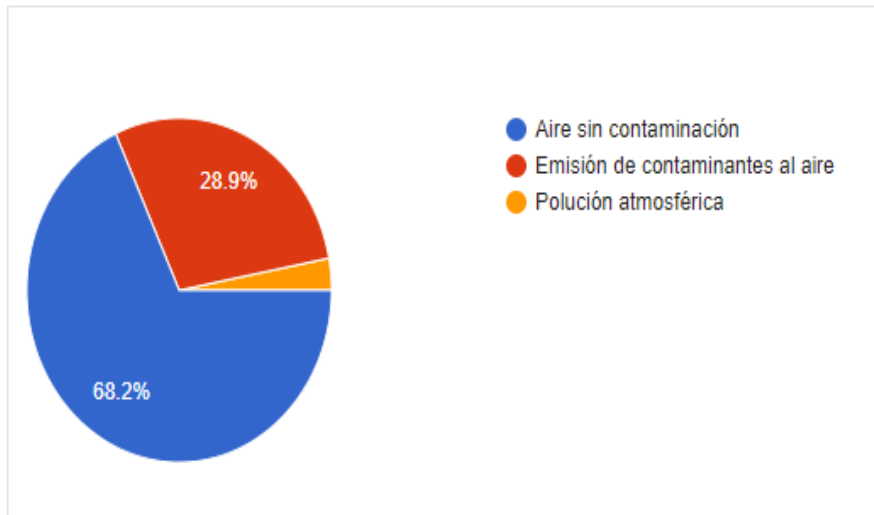
Una vez finalizada la etapa de monitoreo y análisis de resultados se procedió a realizar charlas a estudiantes pertenecientes a las unidades educativas que conforman la red de monitoreo. Las charlas se realizaron durante un tiempo aproximado de 15 a 20 minutos a 202 estudiantes, de entre 2do y 3ro de bachillerato, los cuales forman parte de las unidades educativas de la red de monitoreo atmosférico. Además, se realizó encuestas en cada unidad educativa para determinar el nivel de conocimiento acerca de la calidad del aire por parte de los estudiantes, de las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

1. ¿Qué entiende por calidad del aire?

En la figura 50 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca del término referente a la calidad del aire en donde el 68.2% de los estudiantes encuestados relacionan este término con un aire sin contaminación, el 28.9 % lo relaciona con la emisión de contaminantes al aire y el 3% con polución atmosférica.

Figura 45

Resultados estadísticos conocimiento de calidad del aire



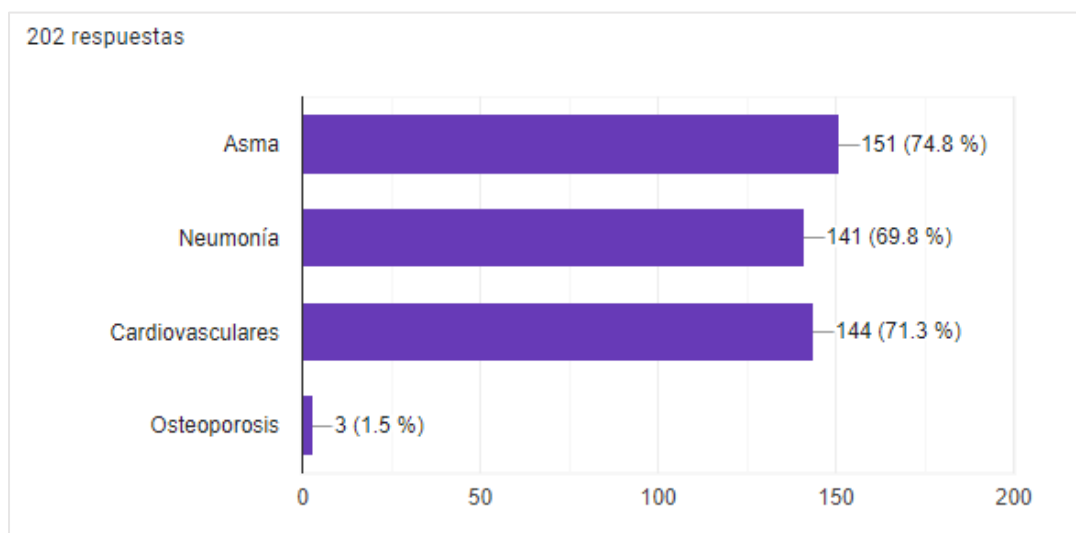
Fuente: La investigación

2. ¿Qué enfermedades produce una mala calidad del aire?

En la figura 51 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de las enfermedades que produce una mala calidad del aire, donde, de los 202 estudiantes encuestados, 151 consideró al asma, 141 a neumonía, 144 a cardiovasculares y 3 a la osteoporosis como enfermedades relacionadas a la calidad del aire.

Figura 46

Resultados estadísticos de enfermedades por la mala calidad del aire



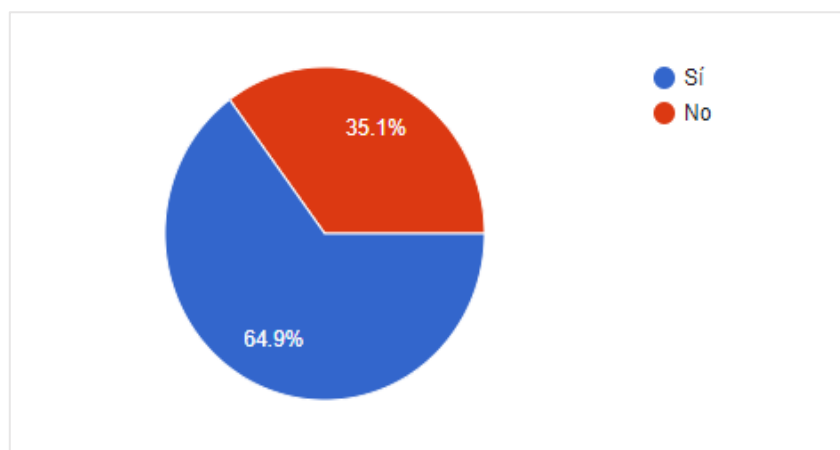
Fuente: La investigación

3. ¿Sabía que la contaminación del aire puede provocar enfermedades cardiovasculares?

En la figura 52 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca del conocimiento de las enfermedades cardiovasculares provocadas por la contaminación del aire que produce una mala calidad del aire, donde de los 202 estudiantes encuestados, el 64.9% correspondiente a 131 estudiantes afirmó el saber acerca de la pregunta mencionada y el 35.1% correspondiente a 71 estudiantes desconocen acerca de estas enfermedades.

Figura 47

Resultados estadísticos de conocimiento acerca de enfermedades cardiovasculares por la mala calidad del aire



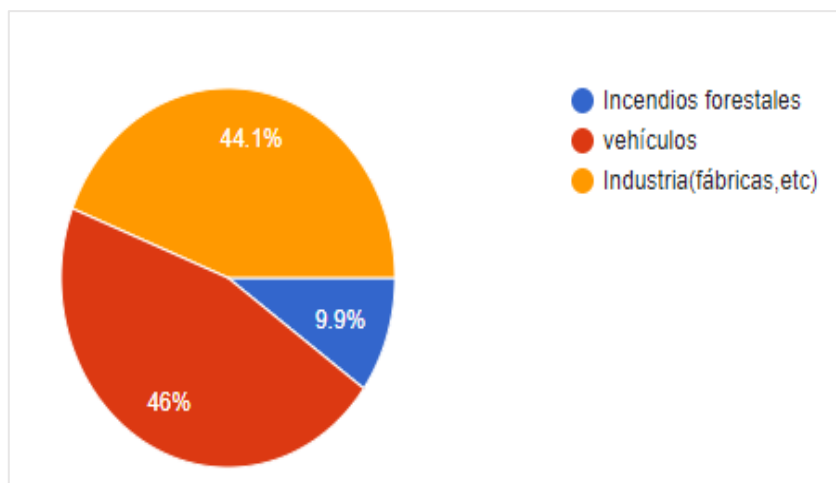
Fuente: La investigación

4. ¿Cuál considera que es la mayor fuente de contaminación del aire?

En la figura 53 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de las fuentes de contaminación del aire, donde de los 202 estudiantes encuestados, el 46% considera a las industrias, el 44.1% a los vehículos y el 9.9% a los incendios forestales como fuentes de contaminación del aire.

Figura 48

Resultados estadísticos de las fuentes de contaminación del aire



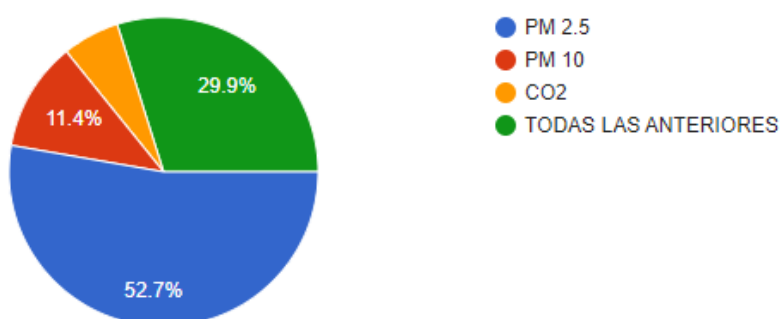
Fuente: La investigación

5. ¿Cuál cree que es el contaminante más peligroso para la salud?

En la figura 54 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de los contaminantes peligrosos para la salud, donde de los 202 estudiantes encuestados, el 52.7% considera a todos los contaminantes presentados como peligrosos para la salud, el 29.9% al PM 2.5, el 12% al PM 10 y el 11.4% a CO2.

Figura 49

Resultados estadísticos de contaminantes más peligrosos para la salud



Fuente: La investigación

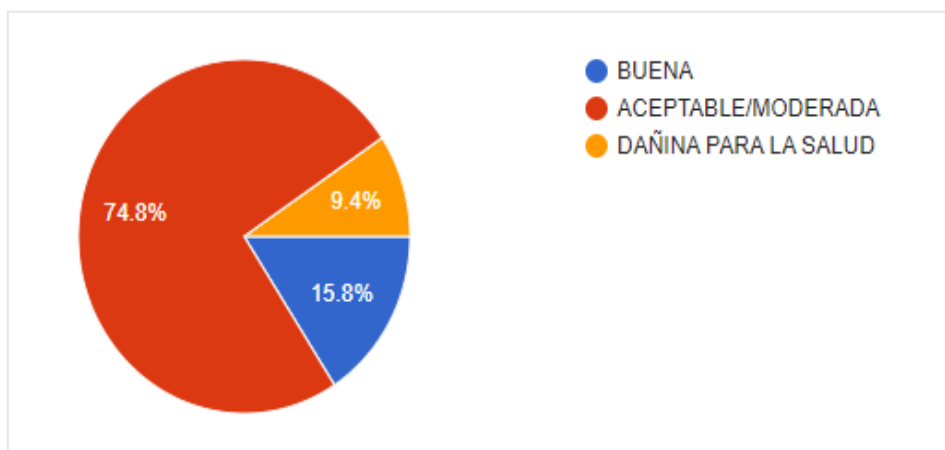
6. ¿Cómo cree que es la calidad del aire en tu institución?

En la figura 55 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de la calidad del aire en sus unidades educativas, donde de los 202 estudiantes

encuestados, el 74.8% considera a la calidad del aire aceptable/moderada, el 15,8% la considera buena y el 9.4% dañina para la salud.

Figura 50

Resultados estadísticos de la calidad del aire en cada institución



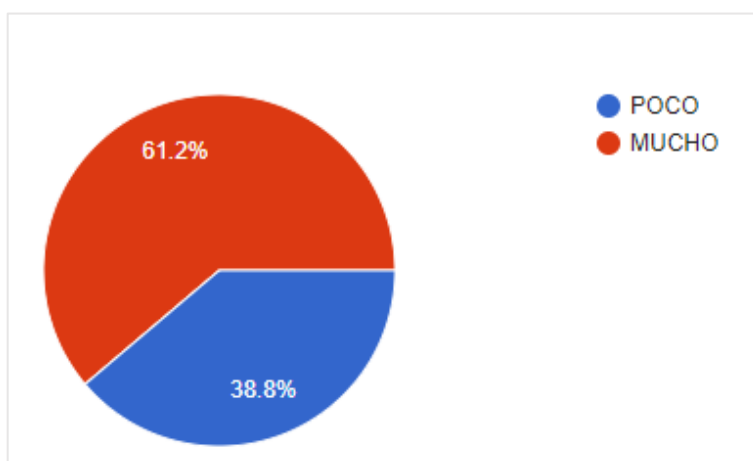
Fuente: La investigación

7. ¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?

En la figura 56 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de su preocupación por la contaminación del aire en sus unidades educativas, donde de los 202 estudiantes encuestados el 61.2% considera muy importante el conocer acerca de la contaminación del aire y un 38.8% no lo considera de vital importancia.

Figura 51

Resultados estadísticos acerca de la preocupación de la contaminación del aire



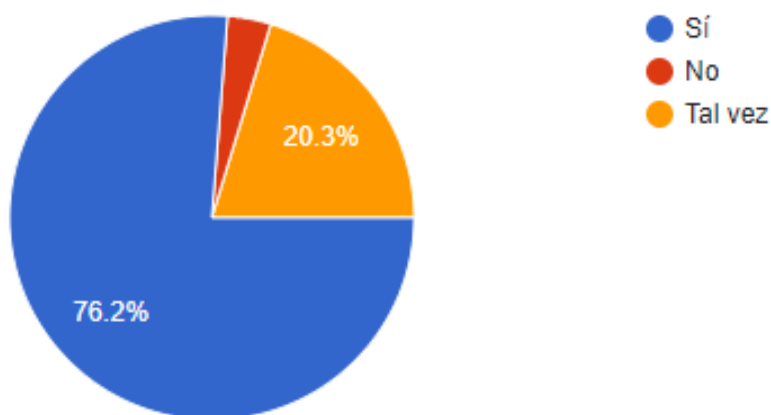
Fuente: La investigación

8. ¿Le gustaría que implementen programas educativos con respecto a la contaminación atmosférica como una medida de prevención?

En la figura 57 se representa los resultados de acuerdo con la percepción estudiantil acerca de la implementación de programas educativos con el fin de prevenir las enfermedades y riesgos de la contaminación atmosférica, donde de los 202 estudiantes encuestados el 76.2% considera que si se deben implementar programas de prevención en las unidades educativas acerca de la contaminación atmosférica, un 20.3% considera que no es necesario y un 3.5% considera que probablemente sea necesario su implementación.

Figura 52

Resultados estadísticos acerca de la implementación de programas educativos



Fuente: La investigación

4.9. Discusión

En el estudio realizado por Estrella, et al. (2019) se analizaron los resultados de calidad del aire de enero a abril de los años 2000 y 2007 en zonas escolares de la ciudad de Quito para determinar la presencia de enfermedades por contaminación ambiental. De acuerdo con sus resultados, los niveles de PM_{2.5} tuvieron una tendencia creciente en el norte de Quito en donde estuvieron por encima de los niveles máximos permitidos por la norma nacional de 15 µg/m³ correspondiente a los años de análisis, en el cual se registró una concentración de 19.67 µg/m³ equivalente a un índice de calidad del aire de 65 dentro del rango moderado. Dichos resultados reflejaron un aumento significativo en la flota de

automóviles en la ciudad, en donde se ha experimentado a lo largo de los años un aumento de la circulación vehicular pesada, especialmente buses diésel, los mismos que generan aproximadamente diez veces más nano partículas que la combustión de gasolina. A comparación con los resultados obtenidos en esta investigación, la norma nacional de calidad del aire ha modificado los límites permisibles correspondientes a PM 2.5 a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por lo que las concentraciones obtenidas del contaminante durante los meses de monitoreo no sobrepasaron dicha normativa manteniendo a las concentraciones registradas de material particulado 2.5 dentro de un rango aceptable a excepción de la Academia General Miguel Iturralde AMMI que registró picos de contaminación el mes de septiembre con $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, noviembre con $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y diciembre con $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales se evidencian por encima de la norma nacional y directrices de la OMS de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Según Kim, et al. (2013) en las zonas escolares de Corea, se alienta a las personas a conducir a menos de 30 km/h en las carreteras ubicadas a menos de 500 m de las escuelas. Además, se ha establecido una política para la designación de un distrito de purificación de higiene y ambiente escolar para evitar cualquier contaminación ambiental resultante de la ubicación de las instalaciones alrededor de una escuela, pero la política no se sigue en su totalidad.

Baldauf et al. (2009) afirma que las concentraciones cercanas a las carreteras de los contaminantes generados por el tráfico generalmente regresan a los niveles de fondo dentro de los 200 a 500 m de la fuente. Por lo tanto, la zona escolar requiere un refuerzo no solo en términos de seguridad frente a accidentes de tránsito, sino también en cuanto a la protección de la salud infantil y el control de la contaminación ambiental para una zona escolar como un espacio mayor de presencia infantil.

En este estudio, se evidenció que las zonas escolares o unidades educativas se encuentran en puntos críticos de contaminación vehicular especialmente de buses de

transporte público que emanan grandes cantidades de contaminación y por ende el riesgo de enfermedad alérgica en los niños y jóvenes puede aumentar por la exposición a la contaminación atmosférica provocando enfermedades.

Además, según Acosta, et al. (2019) al obtener sus resultados relacionando las dos variables temperatura y concentración de PM 2.5 no se encuentra una relación directa observan un comportamiento indirecto donde una temperatura muy elevada tiende a disminuir la concentración de material particulado, ya que se compara la calidad del aire por PM2.5 y PM 10 con la temperatura en una zona aledaña a una establecimiento universitario, mientras que para este trabajo de investigación dentro de las variables evaluadas en cada institución educativa se presentan picos pronunciados de temperaturas como en la Unidad Educativa Jesús de Nazareth se observa una temperatura 22 C° el día 31 de diciembre además de que se presenta una concentración elevada de PM 2.5 de 37 ug/m³, es decir que la temperatura y la concentración de PM 2.5 mantienen una relación directamente proporcional ya que al existir mayores temperaturas existirá mayores concentraciones de PM2.5 debido a que ayuda a que más reacciones fotoquímicas se generan con otros contaminantes generando más material particulado 2.5 al ambiente esto se ha presentado en relación a todos los puntos de monitoreo donde se han implementado los sensores para medición de las variables teniendo en cuenta que va a depender de las condiciones meteorológicas de cada investigación y la comparación que se relacione.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Luego de analizar el comportamiento del material particulado 2,5 de las 7 instituciones educativas, la Academia Miguel Iturralde presentó en un ICA máximo de 189 en el mes de noviembre, seguido de Colegio Julio Tobar Donoso con ICA de 121, AAMPETRA con un ICA de 114, U.E Juan Pablo II con un ICA de 116, la U.E “Rafael Bucheli” y ISTPET con un ICA de 99 respectivamente. Estos datos se presentaron el día 31 de diciembre asumiendo por motivo de festividades de fin de año donde aumentaron las concentraciones de PM 2.5 y por último la U.E Jesús de Nazareth con un ICA de 111 en el mes de septiembre.
- Una vez obtenidos los datos desde la plataforma en las instituciones educativas, la Academia Miguel Iturralde presenta en un 50% de datos que sobrepasan la norma establecida por la OMS de 15 ug/m³ debido a que está influenciada por la Av. Mariscal Sucre y Moran Valverde, seguido de la U.E. “Jesús de Nazareth” y Colegio Julio Tobar Donoso con un 40%, Instituto Traversari, U.E. “Rafael Bucheli ” con un 30%, la U.E “Juan Pablo II” y AAMPETRA con un 20 % de datos.
- Se evidenció que la calidad del aire es aceptable (amarillo) la mayor parte del tiempo de los 4 meses monitoreados. Esta indicación debería solo tomar en cuenta a la población sensible o padezcan de algún tipo de enfermedad respiratoria o cardiovascular ya preexistente.
- De acuerdo con la percepción estudiantil se puede determinar que más del 60% de estudiantes se muestran interesados en temas referentes a la calidad del aire y están conscientes de las distintas fuentes de contaminación del aire identificando como una de las principales fuentes a los vehículos con un 46% y las industrias con un 44.1 % de estudiantes encuestados por lo que, ante la implementación de un programa educativo

de prevención que garantice su bienestar y salud ante una mala calidad del aire el 76.2 % está de acuerdo.

5.2. Recomendaciones

- Implementar programas educativos relacionados con la calidad del aire con el fin de buscar el bienestar de la población estudiantil.
- Se recomienda aumentar el tamaño de la red para tener mayor cantidad de datos y también estudiar el tráfico vehicular y su relación con las lecturas obtenidas.
- Para posteriores estudios se debería realizar un estudio de percepción de la calidad del aire antes y después de las charlas
- Socializar los estudios realizados de contaminación del aire debido a que la norma ecuatoriana es muy tolerante y debería armonizarse con la norma de la OMS
- Implementar sensores de bajo costo como una alternativa de red de monitoreo de Calidad del Aire, con el fin de tener en cuenta los niveles de contaminación que se puedan presentar en el sector o ciudad de interés.

6. BIBLIOGRAFIA

Acosta Nieto, M. F., Rodríguez Brochero, L. V., Cuitiva Vallejo, A. I., Altamar Consuegra, A. del S., & Aragón, J. A. (2019). *Comparación de la calidad de aire por PM10 y PM 2.5 con la Temperatura y Precipitaciones en una zona aledaña a la Universidad Libre Sede Bosque en Bogotá*. 1–9.

Acuerdo No 97/A - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión (Anexo 4, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). | UNEP Law and Environment Assistance Platform. (2015, 30 Julio). <https://leap.unep.org/countries/ec/national-legislation/acuerdo-no-97a-norma-de-calidad-del-aire-ambiente-o-nivel-de>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). *La Contaminación Atmosférica*. Aire. Alberto, I., y Farfán, C. (2010).

- Alejandro Salcido, Ana Teresa Celada, Gustavo Tamayo, N. F. (2019). *Calidad del aire y monitoreo atmosférico*. <https://www.revista.unam.mx/2019v20n3/calidad-del-aire-y-monitoreo-atmosferico/>
- Baldauf R, Watkins N, Heist D, Bailey C, Rowley P, Shores R (2009) Monitoreo de la calidad del aire cerca de la carretera: factores que afectan el diseño de la red y la interpretación de los datos. *Calidad del aire Atmos Health* 2:1–9
- Coeficiente de correlación lineal de pearson. (n.d.). 1–20.
- D’Amato, G., Cecchi, L., D’Amato, M., y Annesi-Maesano, I. (2014). Climate change and respiratory diseases. *European Respiratory Review*, 23(132), 161–169. <https://doi.org/10.1183/09059180.00001714>
- De, M., De, O., De, S., De, V., Calidad, L. A., & Aire, D. (n.d.). MAVDT MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE. www.minambiente.gov.co*
- De, C., Ambiental, I., Yanzapanta, G., Wilmer, E., Naranjo, L., Paul, B., Guido, M., & Lima, P. S. (n.d.). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA*
- Declaración de especificaciones del sensor Cómo entender las especificaciones de los sensores de materia particulada Sensirion. (n.d.). www.sensirion.eswww.onlinedoctranslator.com*
- Díaz, V., & Páez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *ActaNova*, 3, 308–322.
- Economipedia. (2018). *Medidas de tendencia central*. <https://economipedia.com/definiciones/medidas-de-tendencia-central.html>
- Espinosa, S. (2021). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE JURISPRUDENCIA CIENCIAS POLÍTICAS Y CARRERA DE DERECHO Análisis de las normas que regulan la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito para garantizar el derecho humano al ambiente sano Trabajo de T.*
- Estrella, B., Sempértegui, F., Franco, O. H., Cepeda, M., & Naumova, E. N. (2019). Air pollution control and the occurrence of acute respiratory illness in school children of Quito, Ecuador. *Journal of Public Health Policy*, 40(1), 17–34. <https://doi.org/10.1057/s41271-018-0148-6>

- Estrella, R. C., Estrella, B. C., ena Narváez, X., Teresa Reyes, M., Gutiérrez M., Oviedo Fundación Natura, J. C., Resumen, Q.-E., & Estrella, R. C. (2000). *Artículos Originales Contaminación ambiental y enfermedades respiratorias en escolares de Quito* (Vol. 25, Issue 2).
- García Leal, S. A., & Martín Rivera, J. S. (n.d.). *Análisis del comportamiento de la inmisión en cuanto a material particulado (PM10-PM2. 5-Partículas UF)*. <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>
- Gaviláñez Barrionuevo, C. S. (2021). *Estimación de la calidad del aire en ambientes interiores en laboratorios*. <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>
- Gomez, C. (2017). *Contaminación del aire de Medellín por pm10 y pm2. 5*. <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>
- Idrees, Z., Zou, Z., & Zheng, L. (2018). Edge computing based IoT architecture for low cost air pollution monitoring systems: A comprehensive system analysis, design considerations & development. *Sensors (Switzerland)*, 18(9). <https://doi.org/10.3390/s18093021>
- Instituto Nacional de Ecología. (n.d.). Manual 1. *Connect*, 1–12.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de. (2015). Equipos para la medición de la calidad del aire. *Inecc*, 50–72
- Kim, H. H., Lee, C. S., Jeon, J. M., Yu, S. D., Lee, C. W., Park, J. H., Shin, D. C., & Lim, Y. W. (2013). Analysis of the association between air pollution and allergic diseases exposure from nearby sources of ambient air pollution within elementary
- Kirešová, S., & Guzan, M. (2022). MEDICIÓN DE PARTICULADO: PRINCIPIOS Y OPCIONES DE MEDIDA EN LA ACTUALIDAD. *Acta Electrotécnica e Informática*, 22(2), 8–18. <https://doi.org/10.2478/aei-2022-0007>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2018). *Índice de calidad del aire*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/ICA.aspx#:~:text=El Índice Nacional de Calidad,la red nacional de vigilancia.>
- Mouser Electronics. (n.d.). *Sensirion SEN5x Environmental Sensor Nodes*. <https://www.mouser.ec/new/sensirion/sensirion-sen5x/>

- Norma Técnica 001. (2001). Norma técnica para emisiones a la atmosfera de fuentes fijas (nt001) 1. 1, 1–25.
- López, J. F. (2018). Media. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/media.html>
- López, J. F. (2019). Medidas de tendencia central. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/medidas-de-tendencia-central.html>
- Payra, S., Gunwani, P., Verma, S. (2022). Emission Sources of Particulate Matter. In: Sonwani, S., Shukla, A. (eds) Airborne Particulate Matter. Springer, Singapore. https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-981-16-5387-2_2
- Perugachi Cahueñas, N. P., & Cocha Telenchana, L. S. (2019). Rediseño de la red de monitoreo atmosférico para control y vigilancia de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba. *Ciencia Digital*, 3(3.2), 172–192. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.723>
- Sharma, S. (2022b, septiembre 16). ¿Qué es el índice de calidad del aire (AQI) y cómo se calcula? Prana Air. <https://www.pranaair.com/es/blog/what-isairquality-index-aqi-and-its-calculation/>
- S&P. (2019). *Índice de calidad del aire: cómo medir la calidad del aire residencial*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/indice-calidad-aire/>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, T. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003, 3399, 1–578. <https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf%0Ajsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1>
- OMS. (2005). Actualización mundial 2005. Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre Actualización, 5(1), 1–21. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf%0Ajsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1
- OMS. (2021). Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire Resumen ejecutivo. 1–16.
- Payra, S., Gunwani, P., Verma, S. (2022). Emission Sources of Particulate Matter. In: Sonwani, S., Shukla, A. (eds) Airborne Particulate Matter. Springer, Singapore. https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1007/978-981-16-5387-2_2

Perna Vanegas, L. M., & Rodríguez Betancourt, D. K. (n.d.). *Variación y correlación de la concentración de pm₁₀ en un estudio de calidad del aire con diferentes tecnologías de medición.* <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>

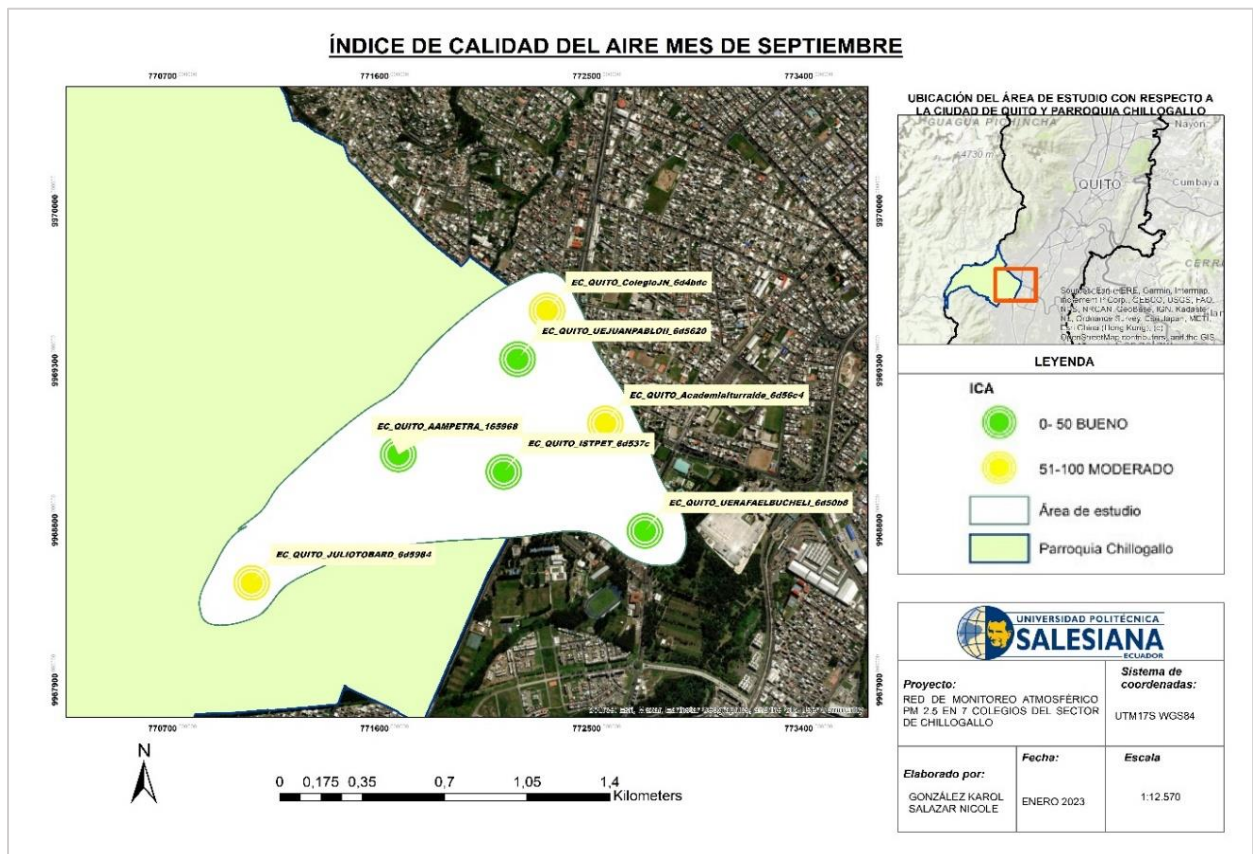
Rojas, N., & Galvis Rojas, N., & Galvis, B. (2005). *Relación entre PM_{2.5} y PM₁₀ en la ciudad de Bogotá.* <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas>

Weitzenfeld, H. (1997). Introducción al monitoreo atmosférico. *Manual de Introducción Al Monitoreo Atmosférico., II, 1–31.* http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Monitoreo/monitor_intro.pdf

7. ANEXOS

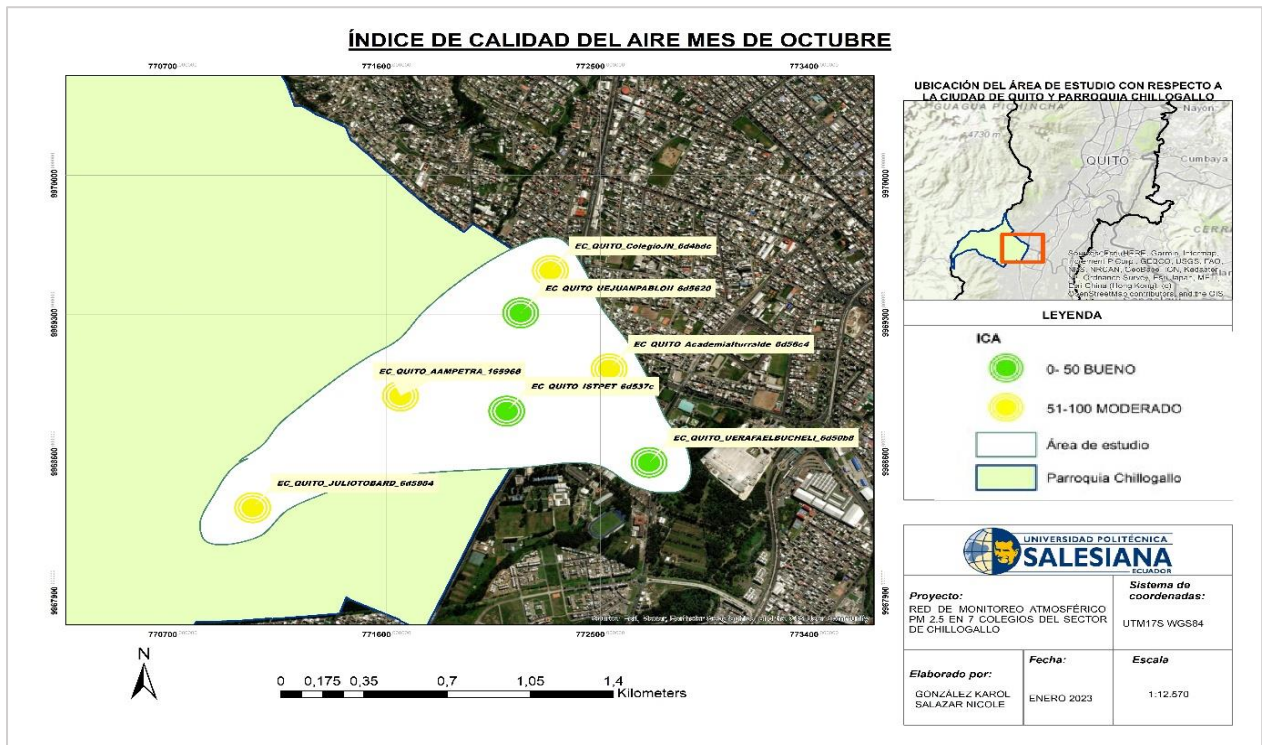
Anexo 1

Mapa de índice de calidad del aire mes de septiembre



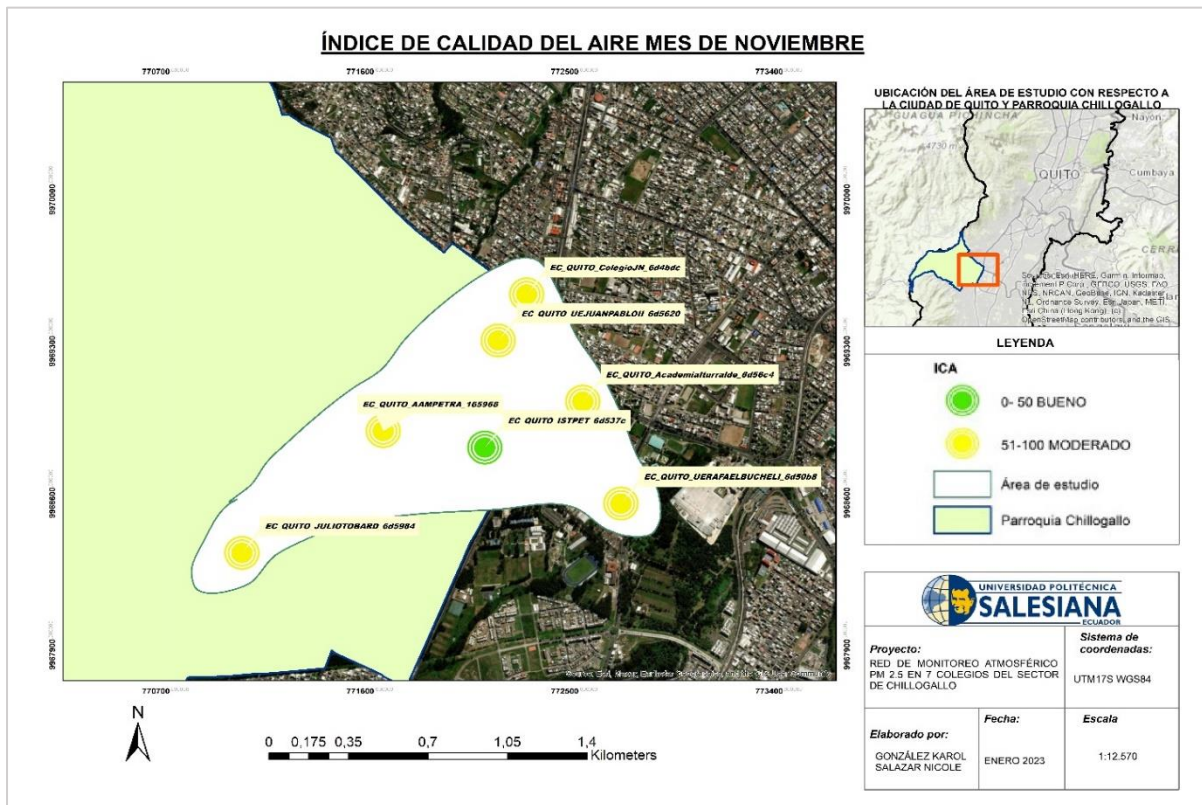
Anexo 2

Mapa de índice de calidad del aire mes de octubre



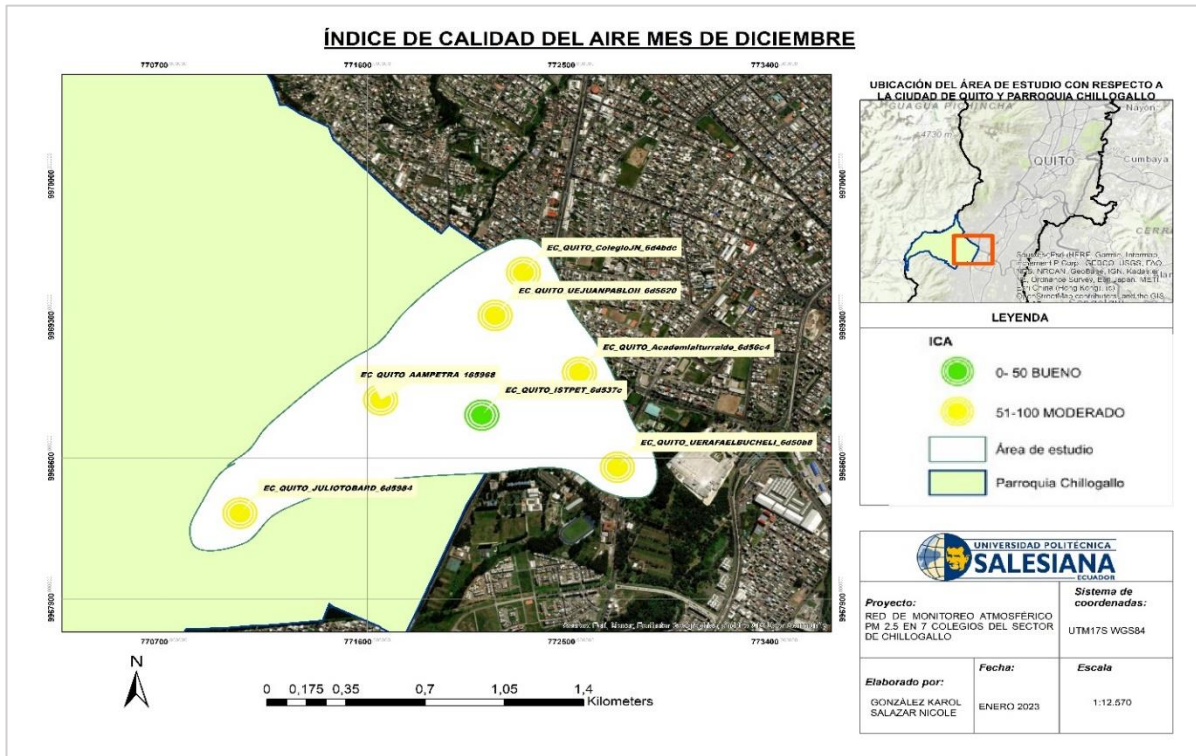
Anexo 3

Mapa de índice de calidad del aire mes de noviembre



Anexo 4

Mapa de índice de calidad del aire mes de diciembre



Anexo 5

Sensor de bajo costo Sensirion SEN5x



Anexo 6

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_ColegioJN_6d4bdc



Anexo 7

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_UEJUANPABLOII_6d5620



Anexo 8

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_AAMPETRA_165968



Anexo 9

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_JULIOTOBARD_6d5984



Anexo 10

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_ISTPET_6d537c



Anexo 11

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_UERAFaelBUChELI_6d50b8



Anexo 12

Instalación sensor punto de monitoreo EC_QUITO_AcademiaIrralde_6d56c4



Anexo 13

Socialización de resultados a estudiantes





Anexo 14

Socialización de resultados a estudiantes



Anexo 15

Socialización de resultados a estudiantes



Anexo 16

Socialización de resultados a estudiantes



Anexo 17

Socialización de resultados a estudiantes

