UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN TRES CAPITALES DISTRITALES DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI - 2022

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

KATHERIN MILAGROS, ABARCA NAVARRO

LUIS ORLANDO, HUACHOS LONGA

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE SUSTENTANCION DE TESIS

N° 200-2024-CGT-FCFYA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, a las 12:15 pm del día 22 de noviembre de 2024, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias forestales y Ambientales estando designados con Memo Múltiple N° 059 – 2024 – UNU – FCF Y A – CGT conformado por los siguientes docentes:

- Dr. César Mori Montero — Presidente
- Mg. Julián Pérez Vigilio — Miembro
- Dr. Isaías A. Salinas Andrade — Miembro

Se procedió a la evaluación de la sustentación de tesis denominada **"DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN TRES CAPITALES DISTRITALES DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI - 2022"**, presentados por los bachilleres **KATHERIN MILAGROS ABARCA NAVARRO Y LUIS ORLANDO HUACHOS LONGA**, cuya sustentación asesorada por **M. SC. TEDY TUESTA TORREJÓN.**

Habiendo finalizado la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado evaluador, las que fueron absueltas por los sustentados. En consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**, recomendando levantar las observaciones indicadas, quedan expedita por el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.**

Siendo las 1:40 pm del mismo día se da por culminado el acto académico, firmado por los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

.....
Dr. César Mori Montero
Presidente

.....
Mg. Julián Pérez Vigilio
Miembro

.....
Dr. Isaías A. Salinas Andrade
Miembro

ACTA DE APROBACION

La tesis fue aprobada por un Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título de Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. César Mori Montero

Presidente

Mg. Julián Pérez Vigilio

Miembro

Dr. Isaías A. Salinas Andrade

Miembro

M. Sc. Tedy Tuesta Torrejón.

Asesor

Bach. Katherin Milagros Abarca Navarro

Tesista

Bach. Luis Orlando Huachos Longa

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0088-2024.**

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN TRES CAPITALES DISTRITALES DEL DEPARTAMENTO UCAYALI - 2022**"

Autor(es)	:	**ABARCA NAVARRO, KATHERIN MILAGROS**
		HUACHOS LONGA, LUIS ORLANDO
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. TUESTA TORREJÓN, TEDY**

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 19/02/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, KATHERIN MILAGROS ABARCA NAVARRO

Autor de la tesis titulada : DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN TRES CAPITALES DISTRITALES DEL DEPARTAMENTO UCAYALI - 2022

Sustentada el año 2024

Asesor(a): M. SC. TEDY TUESTA TORREJÓN

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 05 / 06 / 2025

Email: katerinabarca9@gmail.com Firma:

Teléfono: 971475919 DNI: 74355764

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Luis Orlando Huachos Longa

Autor de la tesis titulada : Determinación del indice de calidad del aire en tres capitales distritales del departamento Ucayali - 2022

Sustentada el año: 2024

Asesor(a): M. Sc. Tedy Tuesta Torrejón

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingenieria Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 05/06/2025

Email: luisorlandohuachoslonga@gmail.com Firma:

Teléfono: 930899905 DNI: 77288749

DEDICATORIA

A mis padres Rocío Milagros y Modesto y Abuelita Meler Elita; por la dicha de tenerlos y de apoyarme en los momentos más importantes de mi vida.

A mi mamá María Nancy, mis hermanas María Nikita, Julia Julissa y a mi querido hijo Dylan Estefano, por el inmenso apoyo, amor y cariño en el desarrollo de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A los Docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, por habernos brindado su valioso conocimiento y experiencia en nuestra formación profesional.

A nuestro asesor Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón, por su motivación y apoyo, durante el desarrollo de la tesis.

A nuestros padres y familiares, por el apoyo incondicional.

A profesionales y amigos, por su colaboración y apoyo que han contribuido de manera importante en la realización del trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria vi
Agradecimiento vii
Índice General viii
Índice de Tablas xi
Índice de Figuras xiii
Resumen xv
Abstract xvi
Introducción xvii
Capítulo I. 19
Planteamiento del problema 19
1.2. Formulación del problema 21
1.2.1. Problema general 21
1.2.2. Problemas específicos 21
1.3. Objetivos 21
1.3.1. Objetivo general 21
1.3.2. Objetivos específicos 21
Capítulo II. 23
Marco Teórico 23
2.1. Antecedentes de la investigación 23
2.1.1. Antecedentes Internacionales 23
2.1.2. Antecedentes Nacionales 25
2.1.3. Antecedentes Locales 27
2.2. Planteamiento teórico del problema 29
2.3. Definición de términos básicos 38
Capítulo III. 40
Metodología 40

3.1. Método de la investigación 40
3.2. Diseño y esquema de la investigación 40
3.3. Población y tamaño de muestra 41
3.4. Procedimiento de recolección de datos. 42
3.5. Técnicas de recolección 46
3.5.1. Técnicas y métodos 46
3.6. Instrumentos de recolección 49
3.7. Materiales y/o equipos 50
3.8. Análisis estadístico 51
Capítulo IV. 52
Resultados y Discusión 52
4.1. Calidad del aire por monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2) y dióxido de azufre (SO_2) por punto de muestreo. 52
4.2. Calidad del aire por material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en los puntos de muestreo de los distritos estudiados. 56
4.3. Índice de calidad del aire por distrito, según H_2S y O_3 60
4.4. Variaciones del Índice de calidad del aire-INCA en el distrito de Campo Verde. 64
4.5. Variaciones del INCA en el distrito Yarinacocha 67
4.6. Variaciones del INCA en el distrito Callería 70
4.7. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de monóxido de carbono-CO por distrito. 74
4.8. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de material particulado (PM10) por distrito. 77
4.9. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de material particulado ($PM_{2.5}$) por distrito. 81
Conclusiones 84
Recomendaciones 86
Referencias Bibliográficas 87

ANEXOS 90

Anexo 1. Estadísticos de la concentración de 7 parámetros medidos (CO, NO_2, SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$, H_2S y O_3) 91

Anexo 2. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el distrito Campo Verde 94

Anexo 3. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM10 y PM2.5 en el distrito Yarinacocha 97

Anexo 4. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el distrito Callería 99

Anexo 5. Panel de fotografías. 101

Anexo 6. Matriz de consistencia 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles del Índice de Calidad del Aire 30
Tabla 2. Cuidados y recomendaciones del Índice de calidad del aire 31
Tabla 3. Índice de Calidad del Aire para PM_{10} 32
Tabla 4. Índice de Calidad del Aire para SO_2 32
Tabla 5. Índice de Calidad del Aire para H_2S 32
Tabla 6. Índice de Calidad del Aire para NO_2 33
Tabla 7. Índice de Calidad del Aire para CO 33
Tabla 8. Estándares de Calidad Ambiental 37
Tabla 9. Estándares de Calidad de aire Internacionales 38
Tabla 10. Características de la muestra 42
Tabla 11. Índice de Calidad del Aire para PM_{10} 48
Tabla 12. Índice de Calidad del Aire para SO_2 48
Tabla 13. Índice de Calidad del Aire para H_2S 48
Tabla 14. Índice de Calidad del Aire para NO_2 49
Tabla 15. Índice de Calidad del Aire para CO 49
Tabla 16. Índice de calidad del aire-INCA por distrito, según CO, NO_2 y SO_2 (en $\mu g/m^3$) 52
Tabla 17. Índice de calidad del aire-INCA por distrito, según PM_{10} y $PM_{2.5}$ (en $\mu g/m^3$) 57
Tabla 18. Índice de calidad del aire por sulfuro de hidrógeno (H_2S) y ozono (O_3) en $\mu g/m^3$ 62
Tabla 19. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Campo Verde. 74
Tabla 20. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 75
Tabla 21. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Yarinacocha. 75
Tabla 22. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 76
Tabla 23. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Callería 77
Tabla 24. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 77
Tabla 25. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Campo Verde 78
Tabla 26. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 78
Tabla 27. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Yarinacocha 79

Tabla 28. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 79
Tabla 29. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Callería 80
Tabla 30. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 80
Tabla 31. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Campo Verde 81
Tabla 32. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 81
Tabla 33. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Yarinacocha 82
Tabla 34. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 82
Tabla 35. Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Callería. 83
Tabla 36. Análisis de varianza (ANVA) de la regresión 83
Tabla 37. Concentración e INCA de monóxido de carbono-CO 91
Tabla 38. Concentración e INCA de dióxido de nitrógeno-NO_2 91
Tabla 39. Concentración e INCA de dióxido de azufre-SO_2 92
Tabla 40. Concentración e INCA de material particulado-PM_{10} 92
Tabla 41. Concentración e INCA de material particulado-$PM_{2.5}$ 93
Tabla 42. Concentración e INCA de sulfuro de hidrógeno-H_2S 93
Tabla 43. Concentración e INCA de Ozono 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. INCA promedio, máximo y mínimo de CO, según punto de muestreo 54
Figura 2. INCA promedio, máximo y mínimo de NO_2 por punto de muestreo 55
Figura 3. INCA promedio, máximo y mínimo de SO_2 por punto de muestreo 56
Figura 4. INCA promedio, máximo y mínimo de PM_{10}, según punto de muestreo 59
Figura 5. INCA promedio, máximo y mínimo de $PM_{2.5}$, según punto de muestreo..... 60
Figura 6. INCA promedio, máximo y mínimo de H_2S, según punto de muestreo 63
Figura 7. INCA promedio, máximo y mínimo de O_3, según punto de muestreo 64
Figura 8. Comportamiento del INCA de CO, NO_2 y SO_2 en distrito Campo Verde..... 65
Figura 9. Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en Campo Verde 66
Figura 10. Comportamiento del índice de calidad del aire de Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) y Ozono (O_3) en Campo Verde 67
Figura 11. Comportamiento del INCA de CO, NO_2 y SO_2 en Yarinacocha..... 68
Figura 12. Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$) en Yarinacocha..... 69
Figura 13. Regresión lineal entre tiempo de muestreo (días) versus índice de calidad del aire de H_2S y O_3 en Yarinacocha 70
Figura 14. Regresión lineal entre tiempo de muestreo (días) versus índice de calidad del aire de CO, NO_2 y SO_2 en Callería 71
Figura 15. Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$) en Callería 72
Figura 16. Comportamiento del índice de calidad del aire de H_2S y O_3 en Callería..... 73
Figura 17. Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Campo Verde 94
Figura 18. Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Campo Verde..... 95
Figura 19. Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Campo Verde.... 95
Figura 20. Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Campo Verde 95
Figura 21. Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Campo Verde ... 96
Figura 22. Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Campo Verde 96
Figura 23. Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Yarinacocha..... 97
Figura 24. Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Yarinacocha..... 97
Figura 25. Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Yarinacocha 97
Figura 26. Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Yarinacocha 98
Figura 27. Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Yarinacocha..... 98

Figura 28. Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Yarinacocha 98
Figura 29. Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Callería 99
Figura 30. Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Callería..... 99
Figura 31. Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Callería..... 99
Figura 32. Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Callería 100
Figura 33. Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Callería..... 100
Figura 34. Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Callería..... 100
Figura 35. Registro de datos de concentración de monóxido de carbono (CO), en el punto de muestreo N° 8 del distrito de Callería 101
Figura 36. Registro de datos sobre concentración de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$), en el punto N° 8 del distrito de Callería 102

RESUMEN

La contaminación atmosférica o del aire ocurre cuando existe la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fue determinar los índices de calidad del aire por contaminante en los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde, con el fin de ayudar a las autoridades locales a prevenir y disminuir la carga social en atención de enfermedades respiratorias de su población. La investigación fue de tipo no experimental, descriptivo y correlacional, el tamaño de muestra seleccionado fue de 8 puntos de muestreo, con un total de 120 repeticiones. Se realizó el análisis de correlación entre tiempo de muestreo e índices de calidad del aire de contaminantes de gases y material particulado cuyas emisiones son generadas en zonas urbanas de los distritos estudiados. Para ello, se aplicó la prueba estadística de regresión lineal empleando el programa Excel 2016 y el complemento de "Análisis de datos de Excel". En función de los resultados, se concluye que la calidad del aire tiene es "Buena" (menor a 50 ug/m^3) en los distritos evaluados, tanto para gases (CO, NO_2, SO_2, H_2S y O_3) y, material particulado ($PM_{2.5}$); excepto, en el distrito de Callería la calidad del aire es "Moderada" (60,24 ug/m^3) con relación al material particulado (PM_{10}). Estadísticamente, se concluye que, la incidencia del tiempo de muestreo tiene una correlación alta con los índices de calidad del aire-INCA para monóxido de carbono-CO (R^2=0.72, 0.71 y 0.72), a nivel de probabilidad del 95%. Mientras que, la incidencia del tiempo de muestreo, en los INCA para material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) tiene una correlación moderada (R^2=0.50, 0.42 y 0.28) a nivel de probabilidad del 95%.

Palabras claves: Contaminación del aire, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, índice de calidad de aire, material particulado, monóxido de carbono, ozono, sulfuro de hidrógeno.

ABSTRACT

Atmospheric or air pollution occurs when there is the presence of chemical, physical or biological agents that alter the natural characteristics of the atmosphere. The objective of this research work was to determine the air quality indices by pollutant in the districts of Calleria, Yarinacocha and Campo Verde, to help local authorities prevent and reduce the social burden in the care of respiratory diseases. of its population. The research was non-experimental, descriptive and correlational, the sample size selected was 8 sampling points, with a total of 120 repetitions. The correlation analysis was carried out between sampling time and air quality indices of gas and particulate matter pollutants whose emissions are generated in urban areas of the studied districts. To do this, the linear regression statistical test was applied using the Excel 2016 program and the "Excel Data Analysis" add-on. Based on the results, it is concluded that the air quality is "Good" (less than 50 ug/m^3) in the evaluated districts, both for gases (CO, NO_2, SO_2, H_2S and O_3) and particulate matter ($PM_{2.5}$); except, in the Calleria district the air quality is "Moderate" (60.24 ug/m^3) in relation to particulate matter (PM_{10}). Statistically, it is concluded that the incidence of sampling time has a high correlation with the air quality indices-INCA for carbon monoxide-CO (R^2=0.72, 0.71 and 0.72), at a 95% probability level. While, the incidence of sampling time, in the INCA for particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) has a moderate correlation (R^2=0.50, 0.42 and 0.28) at a 95% probability level.

Keywords: Air pollution, air quality index, carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matter, hydrogen sulfide, ozone.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera terrestre está compuesta por diversos tipos de gases**,** cuyo mayor porcentaje de masa se acumula en los primeros 11 km de altura (95% del aire se encuentra en su capa inicial). La creciente presencia de sustancias contaminantes en la atmósfera producto de diferentes procesos naturales y antropogénicos, está asociada con efectos negativos en el entorno y, principalmente, en la salud humana. Los contaminantes denominados criterio, entre los cuales están el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO_2), Ozono (O_3), y Material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), son regulados con el objetivo de establecer niveles permisibles que protejan el medio ambiente y el bienestar de la población. La contaminación atmosférica o del aire ocurre cuando existe la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los aparatos domésticos de combustión, los vehículos, las instalaciones industriales y los incendios forestales son fuentes habituales de este tipo de contaminación. La OMS también indica que los contaminantes más preocupantes para la salud pública son las partículas en suspensión, el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Esta contaminación provoca enfermedades respiratorias y de otros tipos y es una de las principales causas de morbimortalidad.

La OMS (2023)**,** indica que el 99 % de la población mundial respira un aire que supera los límites de contaminación atmosférica previstos, lo que supone un peligro para la salud. La contaminación del aire en exteriores e interiores, especialmente en los hogares, causa unos 7 millones de muertes prematuras al año, lo que equivale a 13 muertes por minuto**.**

Por otro lado, según estudio del Banco Mundial, la contaminación atmosférica urbana es uno de los problemas más serios y extensos en las ciudades del Perú y se estima

que es responsable de 3 900 muertes de personas por año. Los países con la mayor tasa de mortalidad atribuible a la presencia de polución aérea de $PM_{2.5}$ son Chile y Perú, con 230 y 176 muertes por cada millón de habitantes.

Antes esta situación, tomar medidas correctivas para hacer cumplir la normativa no es suficiente. Esto ha motivado la necesidad de realizar mediciones específicas de aquellos contaminantes que podrían afectar a la población y de estimar los índices de calidad del aire de las principales capitales distritales de Ucayali, con el fin de contar información de manera oportuna sobre el estado de la calidad del aire, para facilitar a las autoridades ambientales y a los mismos habitantes tomar medidas encaminadas al sostenimiento ambiental y a la protección de la salud pública.

En tal sentido, el objetivo general de la presente tesis fue determinar los índices de calidad del aire por contaminante en los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde, con el fin de ayudar a las autoridades locales a prevenir y disminuir la carga social en atención de enfermedades respiratorias de su población. Los objetivos específicos fueron, determinar el índice de calidad de aire, por concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2), material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S); en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Según la Organización Mundial de la Salud (2021), los niveles de contaminación del aire y el cambio climático siguen siendo peligrosamente las mayores amenazas medioambientales para la salud humana. Asimismo, sus nuevas directrices mundiales sobre la calidad del aire proporcionan información del daño que la contaminación del aire causa sobre la salud humana en concentraciones aún más bajas de lo que se suponía hasta ahora, recomendando nuevos niveles de calidad del aire para proteger la salud de las poblaciones. Son constantes los mensajes e informes de la OMS que alertan el incumplimiento de los valores límite de protección a la salud de los contaminantes atmosféricos en el aire que respiramos. De acuerdo con la última actualización OMS estima que 2,5 millones de personas mueren actualmente por los efectos de la contaminación del aire cada año (WHO, 2004).

En el informe nacional de la calidad de aire 2013 – 2014 elaborado por Concepción y Rodríguez (2014), señala que el parque automotor es la mayor fuente de contaminación del aire en el país y que en los últimos años se ha incrementado el número de vehículos y como consecuencia la contaminación del aire. Para el caso de la Lima metropolitana-Callao y demás ciudades con incremento demográfico exponencial, las principales causas del problema se presentan como un deficiente sistema de transporte urbano con un parque automotor antiguo, así como como una ambigua planificación de rutas. Los principales contaminantes criterio, los cuales cuentan con estándares de calidad ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) o cualquier otra entidad son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el

ozono (O_3), material particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM_{10}), material particulado con diámetro menor o igual a 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$), plomo (Pb), benceno, hidrocarburos totales (HT) e hidrógeno sulfurado (H_2S). definidos así teniendo en cuenta pruebas científicas relativas a la contaminación del aire y sus consecuencias en la salud.

En Pucallpa el sector industrial, vivienda y comercial ha crecido en los últimos años, como consecuencia principalmente del incremento demográfico, parque automotor e industria. Este crecimiento ha generado, impactos ambientales negativos como emisiones de gases, partículas en suspensión, generación de residuos y otros. Es decir, la ciudad presenta características y condiciones que incrementan la concentración de material particulado PM_{10} y monóxido de carbono (CO) considerándose, así como una zona de atención prioritaria de acuerdo al D.S. 003-2017 MINAM. A nivel regional, el "Estudio de la Calidad del aire de Pucallpa" realizado en 2005 por el Gobierno Regional de Ucayali indica que la contaminación por material particulado está sobre el nivel de los estándares nacionales de calidad del aire (100 ug/m^3) y en cuanto se refiere al monóxido de carbono (CO) provenientes de fuentes móviles los resultados reportan entre 5000 y 7000 ug/m^3, valores cercanos al ECA-Aire (GOREU, 2005). Desde la fecha a la actualidad este tipo de monitoreo no es contaste teniendo una información no relevante respecto a la variación de estos parámetros.

Respirar aire limpio es una forma de asegurar una mejor salud para las personas, es por ello que, mantener niveles de calidad de aire aceptables debería ser una política ambiental para los gobiernos locales, a fin de establecer una estrategia que minimice el impacto En base a lo expuesto y debido a que el deterioro de la calidad del aire por la presencia de sustancias contaminantes tiene un efecto negativo en la salud humana y en

el medio ambiente, es propicio realizar este estudio para determinar el índice de calidad del aire de contaminantes atmosféricos en principales capitales distritales de la región.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los índices de calidad del aire en zonas urbanas de capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?
- ¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?
- ¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de ozono (O_3) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar los índices de calidad del aire por tipo de contaminante en zonas urbanas de tres capitales distritales del departamento de Ucayali.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el índice de calidad de aire, por concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.

- Determinar el índice de calidad de aire, por concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.
- Determinar el índice de calidad de aire, por concentración de ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S), en zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Li, J., et al. (2016), en su investigación titulada “Generación y representación de Indicadores de calidad de aire: caso de estudio aplicado a Manizales - Colombia”, los resultados muestran concentraciones bajas de los contaminantes analizados con valores de Índices de Calidad del Aire (ICA) normalmente entre 10 y 60 para material particulado, y entre 0 y 27 para los gases. En general los ICA se ubican en la categoría “Buena” y en pocas ocasiones en la categoría “Moderada”. El Porcentaje Excedencia de los Limites Normados (PELN) de los contaminantes no ha sobrepasado el 1%.

Núñez Caraballo, et al. (2019), de acuerdo a su investigación “Emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera por fuentes fijas del MINAG y su influencia en la calidad del aire en la provincia de Villa Clara -Cuba”, los resultados muestran que la carga contaminante del dióxido de azufre es de 68 t, el 80 % emitido en el municipio de Santo Domingo y el 97 % por quemar fueloil. No obstante, la calidad del aire es aceptable, deficiente y pésima en diferentes áreas cercanas a las fuentes de emisión. Al aplicar las medidas propuestas se puede elevar la eficiencia energética, reducir el consumo de combustible al 3 % (38 t) y la emisión en 1,8 t, lo que favorece los costos de las entidades y propicia menor deterioro de la calidad del aire en las zonas afectadas.

Asimismo; Acevedo (2021), en su investigación “Influencia de la calidad del aire en la mortalidad y la morbilidad por enfermedades respiratorias en Colombia”, analizó la correlación de la calidad del aire con las enfermedades respiratorias en territorio colombiano, así como su influencia en la morbilidad y mortalidad por COVID 19. Este

análisis se realizó tomando datos desde el año 2010 al 2019 y del 1 de enero de 2020 al 30 de junio de 2020, para 11 localidades de la ciudad de Bogotá y de 15 ciudades a nivel Colombia, evidenciando que el O_3 y el PM10 son los contaminantes con mayor influencia, adicional a las variables relacionadas con enfermedades preexistentes, condiciones económicas, meteorológicas y hábitos de salud.

Como resultado de la revisión de los monitoreos de la calidad de aire en buenos aire, se detectó que los datos muestran que la concentración de los contaminantes en el aire está asociada, principalmente a la intensidad del flujo vehicular y que presenta un ciclo de variación estacional. Sin embargo, mediciones recientes en la ciudad muestran valores aceptables de CO y NO_2, pero relativamente altos de material particulado, parámetro que afecta en forma negativa a la salud (Serio et al. 2020).

Cuesta et al. (2018), muestra como resultado de su invetigacion titulada "Distribución espacial de concentraciones de SO_2, NOx y O_3 en el aire ambiente de Manizales" que las concentraciones promedio de SO_2 varían de 4.1 a 9.8 µg/m^3 en los diferentes puntos de monitoreo, con puntos de mayor concentración que indican incidencia de la actividad industrial y del Nevado del Ruiz. Por otra parte, las concentraciones promedio de NOx varían en un rango de 5.9 a 82.2 µg/m^3, con mayores concentraciones en los puntos con influencia de alto flujo vehicular, mientras tanto las concentraciones de O_3 varían de 16.1 a 68.1 µg/m^3, y las mayores concentraciones se registraron en los puntos del área rural.

Acorde a la investigación "Evaluación de la calidad del aire referente a emisiones de gases en el sector de Durán" se determina que los valores de concentración de NO_2 promedio en una hora son de 37.6 µg/m^3 y 50.9 µg/m^3 en cada punto de monitoreo en el orden mencionado , asimismo para el SO_2 los valores de concentración promedio en veinticuatro horas son de 15.8 µg/m^3 y 28.4 µg/m^3, por otro lado los resultados de CO

obtenidos en el muestreo realizado indica que los valores de concentraciones promedio en una hora son de 1172.8 µg/m^3 y 1386.2 µg/m^3, es decir, la concentración de estos contaminantes esta aun en niveles mínimos en este sector y ninguno supera lo establecido en la normativa (Delgado, 2016).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Rodríguez (2017), desarrolló el proyecto de investigación denominado "Determinación de la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM) en vías urbanas de la ciudad de Tarapoto, Perú" cuyos resultados registrados en las Estaciones 1 y 2 muestran concentraciones de 33,99 y 37,88 µg/m^3 respectivamente, los cuales demuestran que no se excede las concentraciones del contaminante de PM establecidas en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Finalmente, al comparar con el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA) se establece que la calidad del aire se encuentra dentro del rango establecido como "BUENA".

De acuerdo a la investigación realizada en tres avenidas del distrito de Mariano Melgar en 2019 sobre concentración de monóxido de carbono (CO), los resultados indican que existe una mayor concentración de CO en la Avenida Mariscal Castilla con 2.33 mg/m^3 de CO, a diferencia de la Avenida Argentina donde se registra la menor concentración con 0.37 mg/m^3 de CO. Asimismo, el análisis comparativo demuestra que el mes más contaminado es el de julio por razón de festividades con una concentración registrada de 1.69 mg/m^3, además, que la concentración de CO se ve variada conforme a los horarios de medición, siendo el horario de la tarde donde se registró mayores concentraciones con 1.59 mg/m^3 de CO (Canales, 2022).

Por otro lado en la investigación "Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycán", los resultados muestran que los meses octubre y noviembre que en el punto de monitoreo

Residencial Pariachi sector 4 entrada Huaycán, la concentración de monóxido de carbono es 4941 ug/m^3 y dióxido de azufre 12.7 ug/m^3, de la misma manera para el punto de monitoreo de la Asociación de viviendas civil Pariachi sector 3 la concentración del monóxido de carbono es 4941 ug/m^3 y dióxido de azufre 12.7 ug/m^3, estos valores no exceden el nivel de referencia establecida por la normativa peruana, clasificando la calidad de aire como bueno (Córdova, 2019).

Espinoza y Barrientos (2021), en su investigación titulada “Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan– Huancavelica, 2021”, señalan que las concentraciones de PM_{10} superan los estándares de calidad ambiental con valores de 104.64, 103.88, 101.41, 102.17, 97.5 µg/m^3 y un promedio de 101.92 µg/m^3, de igual forma los valores de $PM_{2.5}$ 53.42, 59.25, 56.9, 60.27, 49.07 µg/m^3 con un promedio de 55.78 µg/m^3 superan también los estándares de calidad ambiental para material suspendido fino. Determinando que la calidad de aire global del PM_{10} es moderado, $PM_{2.5}$ no saludable para grupos sensibles y el Índice de calidad del aire (AQI) global es No saludable para grupos sensibles.

Asimismo, la investigación de Manrique (2017), titulada “La Contaminación Atmosférica y la Gestión de la calidad del aire en la ciudad De Huara, 2014”, muestra que las partículas $PM_{2.5}$, sobrepasan los estándares de calidad del aire vigentes para el período de estudio, en varios puntos, de los cuales se registra concentraciones más altas en el punto P3 (Barrio de La Soledad Alta) con 34,82 µg/m^3 en el primer cuatrimestre y 35,12 µg/m^3 en el segundo. En el último cuatrimestre el valor más alto es de 58,39 µg/m3 y se registra en el punto P1 del Barrio de Centenario. En este mismo contexto las concentraciones de plomo y demás gases se hallan muy por debajo de dichos estándares.

De acuerdo a la investigación titulada “Evaluación de la calidad de aire por CO y H_2S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del “Sector Cercado”, en la ciudad de

Tarapoto", los resultados señalan que para los puntos de mayor flujo vehicular correspondientes a las intersecciones del Jr. Plaza M./Jiménez Pimentel: E1, Jr. Plaza M./Jr. Martines de compagñon: E2 y el Jr. Maynas /Antonio Raymondi: E3., los niveles de CO y H_2S presentan las siguientes concentraciones: CO (E1=1122, E2= 2901 y E3=5154 ug/m^3) y H_2S (E1<2, E2= 2 y E3<2 ug/m^3); los mismos que según lo establecido en el D.S. N° 003-2017-MINAM no cumplen con el valor indicado. Finalmente se hace mención que la calidad de aire de las intersecciones con mayor flujo vehicular del Sector Cercado es buena y permisible para la calidad de vida y conservación del ambiente, pese que en un punto de uno de los parámetros exista variación (Benites y García, 2020).

Marín (2019), en su investigación "Relación entre la contaminación del aire y la salud de los pobladores del sector nueva esperanza, en el distrito de Villa María del Triunfo, mes de agosto 2018", determina la relación inversa de la contaminación del aire por gases emitidos por el parque automotor y la salud de los pobladores del sector de Nueva Esperanza. Si bien los valores registrados del SO_2 y el CO no sobrepasan los límites del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA), existen un número significativo de atenciones por enfermedades respiratorias en los pobladores del citado sector concluyendo que a mayor contaminación del aire por gases del parque automotor menor salud; o a menor contaminación del aire por gases de parque automotor, mayor salud.

2.1.3. Antecedentes Locales

En la investigación realizada en la ciudad de Pucallpa en el año 2021 con el objetivo de evaluar los niveles de monóxido de carbono durante la festividad del San Juan, los resultados indican que los niveles de monóxido de carbono tomadas antes de la festividad son en promedio de 4.270 mg/m^3, sin embargo, durante el desarrollo de las actividades concernientes a esta festividad el promedio asciende a 6.660 mg/m^3 y después el promedio

es de 4.940 mg/m^3, lo que deriva a la conclusión de que el Índice Nacional de Calidad de Aire es “Bueno” antes y después de la festividad, pero adopta de clasificación “Moderada” durante esta (Reátegui et al., 2021).

Lay y Rios (2021), en su investigación titulada “Evaluación de los niveles de monóxido de carbono (CO) Y sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el centro urbano de la provincia de Coronel Portillo - Región Ucayali.”, concluyen que los niveles de monóxido de carbono en el centro urbano de la Provincia de Coronel Portillo son en promedio de 1798.22 µg/m^3 con una máxima de 7120.00 µg/m^3 y un mínimo de 210 µg/m^3, asimismo los niveles de Sulfuro de Hidrógeno presentan promedios de 22.70 µg/m^3 con una máxima de 123 µg/m^3 y un mínimo de > 1 µg/m^3.

Tuesta (2015), en su investigación realizada en los distritos de Callería, Yarinacocha, Manantay de la Provincia de Coronel Portillo y distrito de Aguaytía en la Provincia de Padre Abad, obtuvo como resultados relevantes que la concentración de PM_{10} promedio en Yarinacocha es de 366 ug/m^3 el que supera los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) de aire, evidenciando un estado de alerta “Peligroso” y un índice de calidad de Aire “Muy Malo”. Por su parte la concentración de material particulado en el distrito de Manantay también supera los Estándares de Calidad Ambiental con 279.2 ug/m^3; en ambos casos, se observa que la causa principal de contaminación por PM_{10}, se debe al excesivo flujo vehicular y a otras condiciones de la zona como calles no pavimentadas.

Por otra parte, en la investigación titulada “Determinación de la concentración de monóxido de carbono (CO) del parque automotor de las ciudades de Pucallpa y Aguaytía” lo resultados muestran que la concentración de monóxido de carbono en la ciudad Pucallpa es en promedio 6822.13 µg/m^3, mientras que, en la ciudad de Aguaytía, el valor promedio oscila en 3 632 µg/m^3, valores que están por debajo del Estándar de Calidad Ambiental Aire (ECA). Además, se determina que en la intersección de la Av. Centenario con Av. Aviación

de la ciudad de Pucallpa la concentración de monóxido de carbono es de 10 171,2 µg/m^3, valor que está por encima del ECA aire. En este mismo contexto en la ciudad de Aguaytía, se determina la concentración más baja con 3 327.2 µg/m^3, en el principal acceso a la ciudad de Aguaytía ubicado en la Carretera Federico Basadre con Jr. Los Helechos (Gomez y Gonzalez, 2020).

2.2. Planteamiento teórico del problema

2.2.1. Índice de calidad del aire.

El índice de calidad del aire es un valor adimensional calculado a partir de uno o varios contaminantes representado por niveles o concentraciones de la contaminación atmosférica y de sus efectos en la salud, estas se comprar con las normas de calidad del aire que rigen actualmente en Perú. este índice integrado de calidad del aire puede ofrecer información clara y de fácil comprensión para la comunidad facilitando que la población tome acciones preventivas respecto a los efectos sinérgicos de alto impacto del ozono y material particulado (Muñoz, 2010).

2.2.2. Niveles del Índice de Calidad del Aire

El índice de calidad del aire es un indicador diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire, muestra que tan contaminado se encuentra el aire y cuáles podrían ser los efectos en la salud (MINAM, 2016).

El índice de Calidad del Aire (INCA) tiene un valor óptimo comprendido entre 0 y 100, el cual coincide con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. El INCA se divide en 4 categorías o calificaciones de la calidad del aire. La banda de color verde comprende valores del INCA de O a 50 y significa que la calidad del aire es buena, la banda de color amarillo comprende valores de 51 a 100 e indica una calidad moderada del aire; la banda de color anaranjado se encuentra comprendida entre los valores 101 y el

valor umbral del estado de cuidado (VUEC) de cada contaminante, lo que nos indica que la calidad del aire es mala; finalmente el color rojo de la cuarta banda nos indica que la calidad del aire es mayor al valor umbral del estado de cuidado del contaminante, a partir de este valor corresponde la aplicación de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud (MINAM, 2016).

Tabla 1

Niveles del Índice de Calidad del Aire

NIVEL CALIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0-50	Verde
Moderada	51-100	Amarillo
Mala	101-VUEC*	Anaranjado
>VUEC*	>VUEC*	Rojo

*VUEC: Valor umbral del estado de cuidado

Fuente: Metodología para calcular el Índice de Calidad del aire-INCA (MINAM, 2016).

Según MINAM (2016) y de acuerdo con la calificación del INCA la población sensible y población en general deberán tomar en cuenta los cuidados y recomendaciones que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Cuidados y recomendaciones del Índice de calidad del aire

CALIFICACIÓN	CUIDADOS	RECOMENDACIONES
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representada un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podrían experimentar algunos problemas de salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	La concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares	Reportar a la autoridad de salud para que declare los niveles de estado de alerta de acuerdo al decreto supremo N° 009-2003-SA y modificatoria decreto supremo N° 012-2005-SA.

Fuente: Metodología para calcular el Índice de Calidad del aire-INCA (MINAM, 2016).

2.2.3. Determinación del índice de calidad del aire

Los valores del Índice de Calidad del Aire (INCA) son calculados tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Aire y como rango final, el valor umbral de aplicación de los Niveles de Estados de Alerta. El INCA se elaborará sobre la base de información de calidad del aire que se genere en las zonas de atención prioritaria.

La determinación matemática del INCA para cada contaminante en las ecuaciones), se basa en una relación entre el valor registrado de la concentración del contaminante (indicado entre corchetes) y su correspondiente valor del estándar de calidad ambiental para cada caso (MINAM, 2016).

Tabla 3

Índice de Calidad del Aire para PM_{10}

Material particulado (PM_{10}) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
0 – 50	0-75	$I(PM_{10}) = [PM_{10}]^* 100/100$
51 – 100	76-150	
101 - 167	151-250	
>167	>250	

Tabla 4

Índice de Calidad del Aire para SO_2

Dióxido de azufre (SO_2) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
0 - 50	0-10	$I(SO_2) = [SO_2]^* 100/250$
51 - 100	Nov-20	
101 - 627	21-500	
>625	>500	

Tabla 5

Índice de Calidad del Aire para H_2S

Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
0 - 50	0-75	$I(H_2S) = [H_2S]^* 100/150$
51 - 100	76-150	
101 - 1000	151-500	
>1000	>1500	

Tabla 6

Índice de Calidad del Aire para NO_2

Dióxido de nitrógeno (NO2) promedio 1 hora		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m^3)	Ecuación
0 - 50	0-100	I (NO_2) =[NO_2]* 100/200
51 - 100	101-200	
101 - 150	201-300	
>150	>300	

Tabla 7

Índice de Calidad del Aire para CO

Monóxido de carbono (CO) promedio 8 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (µg/m^3)	Ecuación
0 - 50	0-5049	I (CO)=[CO]* 100/10000
51 - 100	5050-10049	
101 - 150	10050-15049	
>150	>15050	

2.2.4. Material Particulado (PM).

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos-EPA (2021), PM significa material particulado (también llamado contaminación por partículas), este define una mezcla de partículas sólidas y gotas liquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas son lo suficientemente grandes para verlas a simple vista (por ejemplo, el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo). Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico.

El PM por lo general se dividen en 2:

- PM_{10}: Partículas inhalables que tienen diámetro de, por lo general, 10 micrómetros y menores; y

- $PM_{2.5}$: Partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores.

Las principales fuentes de emisión de estas partículas son las obras de construcción, caminos sin asfaltar, campos, chimeneas o incendios y la mayoría de ellas se forman en la atmosfera como resultado de reacciones complejas de químicos, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, que son contaminantes emitidos por centrales eléctricas, industrias y automóviles.

2.2.5. Monóxido de Carbono (CO)

Según SoCalGas (s.f.), el monóxido de carbono (CO) es un gas peligroso inoloro, insípido e incoloro. Se produce cuando los combustibles a base de carbono, tales como queroseno, gasolina, gas natural, propano, carbono madera se queman sin suficiente oxígeno, lo que provoca una combustión incompleta. Puede causar súbitamente una enfermedad y la muerte. Una persona puede envenenarse al respirarlos. Los síntomas más comunes de envenenamiento por CO son dolor de cabeza, mareos, debilidad, nausea, vómitos, dolor en el pecho, confusión. Suele ser difícil decir si alguien está envenenado con CO, ya que los síntomas pueden parecerse a los de otras enfermedades. Las personas que están dormidas o intoxicadas pueden morir de envenenamiento por CO antes de presentar síntomas. Un detector de CO puede advertirle si tiene altos niveles de CO en su hogar (MedlinePlus, 2021).

2.2.6. Concentración de ozono (O_3)

Quintero, et al (2004), manifiesta que la introducción de sustancias químicas en el medio ambiente natural y en el ecosistema antrópico, por una parte y el conocimiento que se tiene de los posibles efectos adversos de esas sustancias químicas en la salud de la población, por otra parte, hacen necesario evaluar la cantidad real de contaminantes presentes en el medio ambiente. Uno de estos contaminantes ambientales es el Ozono que se debe principalmente a la acción de la luz solar sobre los óxidos de nitrógeno y los

hidrocarburos. A nivel del suelo el Ozono O3 es un fuerte irritante de los ojos y respiratorio, así como un componente importante del smog fotoquímico. También es posible que actúe como un gas de efecto invernadero.

2.2.7. Dióxido de azufre (SO2)

Torres y Vallejos (2010), sostienen que el anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, muy soluble en agua y en otros compuestos: alcoholes metílico y etílico, ácido acético, éter y cloroformo, ácido sulfúrico, etc. La solubilidad del anhídrido sulfuroso disminuye con el aumento de temperatura. Punto de fusión, -75 ºC, y punto de ebullición -10 ºC. No es explosivo ni inflamable. En seco y a temperaturas ordinarias, es poco reactivo y muy estable. En presencia de humedad, se oxida fácilmente, formando primero ácido sulfuroso que luego se transforma lentamente en ácido sulfúrico.

2.2.8. Dióxido de nitrógeno (NO2)

Torres y Vallejos (2010), sostienen que el dióxido de nitrógeno es un gas pardo amarillento, ligeramente rojizo, a temperatura normal es muy volátil. Su olor es irritante y se disuelve en el agua, ya que reacciona con ella. A temperaturas inferiores a -10 ºC se polimeriza en su dímero N_2O_4, coexistiendo ambos, y al aumentar la temperatura se disocia el dímero. Por encima de 200ºC, el dióxido de nitrógeno se disocia en NO y oxígeno. El NO_2 es más denso que el aire. El NO_2 es un agente oxidante muy fuerte, y actúa como comburente frente a materiales combustibles. Se disuelve en muchos compuestos orgánicos (sulfuro de carbono, hidrocarburos halogenados, etc.). Reacciona con el agua dando una mezcla de ácidos nítricos y nitrosos. En seco, no atacan a los metales, pero sí en presencia de humedad, por formarse ácido nítrico. El NO_2 a grandes temperaturas se descompone en NO y oxígeno.

2.2.9. Sulfuro de hidrógeno (H2S)

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable y extremadamente peligroso con olor a "huevo podrido". Ocurre de forma natural en petróleo crudo y gas natural, y puede

ser producido por la descomposición de materia orgánica y desechos humanos/animales (por ejemplo, aguas negras). Es más pesado que el aire y puede acumularse en áreas bajas y cerradas, pobremente ventiladas, como sótanos, bocas de registros, bóvedas subterráneas para líneas de alcantarillado y teléfonos/eléctricas (Calderón, 2019).

2.2.10. Calidad del aire y contaminación.

La Organización Mundial de la Salud, define al aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre” (OMS, 2005). Por esta razón, la contaminación del aire se ha convertido en uno de los principales problemas de salud pública. En las grandes áreas urbanas una de las principales fuentes de contaminación atmosférica la constituyen principalmente los vehículos y la industria los cuales han ido aumentado en forma considerable en las últimas décadas.

Los efectos del material particulado sobre la salud se producen a los niveles de exposición a los que está sometida actualmente la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo, la exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (OMS, 2013).

2.2.11. Normativa de la Calidad Ambiental del Aire.

La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, establece en su Artículo 118° que las autoridades públicas, en el ejercicio de sus funciones y atribuciones, adopten medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, con el fin de asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, según sea el caso, actuando prioritariamente en las zonas en las que se superen los niveles de alerta por la presencia de contaminantes, debiendo aplicarse planes de contingencia para la prevención o mitigación de riesgos y daños sobre la salud y el ambiente (MINAM, 2013).

A continuación, en la tabla 1 se muestran los valores de los parámetros de los estándares de calidad de aire en el Perú.

Tabla 8

Estándares de Calidad Ambiental

Parámetros	Periodo	Valor (ug/m^3)	Criterios de Evaluación	Método de Análisis
Dioxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial / filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial / filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30 000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10 000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Metódo automático)
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Fuente: Ministerio del Ambiente, Perú (2017).

En la tabla 9, se muestran los estándares de calidad de aire con los valores designados para cada tipo de contaminante, establecidos por la autoridad nacional ambiental y organismos internacionales (Organización Munidal para la Salud-OMS,

Agencia de Protección Ambiental de USA-EPA, Unión Europea-UE, Guías Canadienses de Calidad del Aire- CEQG y Banco Mundial-WBG).

Tabla 9

Estándares de Calidad de aire Internacionales

PARAMETROS	PERIODO	ECA	OMS	EPA	UE	CEQG	WBG
PM10 (µg/m^3)	24 h	100	50	150	50	25	150
Plomo(µg/m^3)	Mensual	1.5	-	-	-	-	-
SO_2 (µg/m^3)	24 h	250	20	365	125	150-800	150
NO_2 (µg/m^3)	1 h	200	200	-	200	400-1000	-
H_2S (µg/m^3)	24 h	150	150	-	-	-	-
O_3 (µg/m^3)	8 h	100	100	160	120*	-	-
CO (µg/m^3)	1 h	30000	-	40000	-	15000-35000	-

Fuentes:

ECA: Estándares nacionales de calidad del Aire (DS.003-2017-MINAM)
OMS: Guías de calidad del aire-Actualización Mundial-2022
EPA: Agencia de protección Ambiental-USA
UE: Relativa a los valores límite de dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.
*UE: Framework Directive on Ambient Air Quality Assessment ang Management
CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines
WBG: World Bank Group. Pollution Prevention and Abatement Handbook

2.3. Definición de términos básicos

- **Calidad del aire:** Es una indicación de cuánto el aire está exento de contaminantes atmosféricos; y, por lo tanto, apto para ser respirado (INEI, 2014).
- **Índice de Calidad del aire:** El índice de calidad del aire es un indicador diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire, muestra que tan contaminado se encuentra el aire y cuáles podrían ser los efectos en la salud. Tiene un valor comprendido entre 0 y 100, el cual coincide con los valores de los estándares de calidad ambiental de aire (MINAM, 2016).
- **Estándar de calidad ambiental aire (ECA aire):** Los **ECA aire** son indicadores de calidad ambiental. Miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el aire. Su finalidad es fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana (MINAM, 2017).

- **Monóxido de carbono (CO):** El monóxido de carbono (CO) es un gas inflamable, incoloro, insípido, ligeramente menos denso que el aire y altamente tóxico que se genera naturalmente en la producción y degradación de la clorofila de las plantas, así como en los incendios forestales al producirse combustión incompleta del carbono (Rioja, 2016).
- **Material Particulado (PM_{10}):** Se denomina material particulado (PM_{10}) a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro aerodinámico es menor que 10 micras (Sullivan, 2017).
- **Material Particulado ($PM_{2.5}$):** Se denomina material particulado ($PM_{2.5}$) a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro aerodinámico es menor que 2.5 micras (Sullivan, 2017).
- **Dióxido de azufre (SO_2):** Gas incoloro no inflammable, presenta un olor fuerte e irritante para altas concentraciones (más de 3 ppm), es considerado uno de los principales responsables de la lluvia ácida (Troposfera.org., 2005).
- **Dióxido de nitrógeno (NO_2):** Es un compuesto químico gaseoso de color marrón amarillento, se produce por los incendios forestales o las erupciones volcánicas. También se produce de forma natural por la descomposición de nitratos orgánicos (Guías de calidad del aire de OMS, 2005).

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

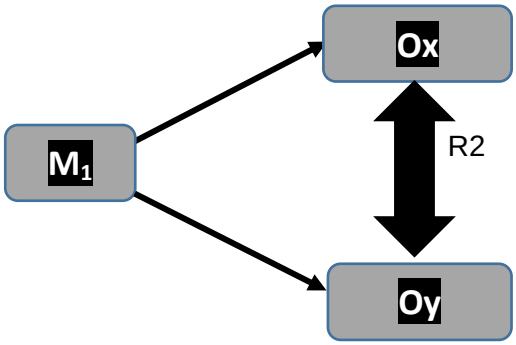
La investigación es descriptiva, ya que no hay manipulación de variables (Indices de calidad del aire versus tiempo de muestreo en zonas urbanas de los distritos en estudio), éstas se observaron y describieron tal como se presentaron en su ambiente natural para luego analizarlos. La investigación descriptiva sirve para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto (Bernal , 2010).

El nivel de la investigación es correlacional, y sirve para examinar relaciones entre variables o sus resultados, pero en ningún momento explica que una sea la causa de la otra. En otras palabras, la correlación examina asociaciones, pero no relaciones causales, donde un cambio en un factor influye directamente en un cambio en otro.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se analizaron datos de los índices de la calidad del aire en relación al tiempo de muestreo de las zonas urbanas de los distritos de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.

3.2. Diseño y esquema de la investigación

El diseño es no experimental, tal como refiere Valderrama (2014), quién define como la estrategia o plan para obtener la base de datos, responder a la formulación del problema, al cumplimiento de los objetivos y para aceptar o rechazar la hipótesis nula", en función del esquema que se describe a continuación:



Donde:

M_1 = Muestra.

Ox = Sectores de zonas urbanas de los distritos en estudio.

Oy **=** Indices de calidad del aire.

R2 = Correlación entre variables (Ox y Oy).

3.3. Población y tamaño de muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por las vías urbanas principales (intersección de avenidas y jirones o calles) de las capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.

3.3.2. Muestra

La muestra fue de tipo no probabilística e intencional; para ello, se ubicaron 3 sectores por cada capital distrital (teniendo criterios de concentración de población, mayores actividades comerciales e industriales y mayor tránsito vehicular); en dichos sectores se establecieron 3 puntos de monitoreo para Callería y Yarinacocha cada uno y 2 para Campo Verde, los mismos que tuvieron 15 repeticiones o días de monitoreo por 24 horas ininterrumpidamente, haciendo un total de 120 muestras.

Tabla 10

Características de la muestra

CAPITAL DISTRITAL	PUNTO MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM		TIEMPO (2022)	MUESTRA (Días)
			E	N		
Campo Verde	1	Carretera Federico Basadre/Banco de la Nación	521409	9063218	1-15 Marzo	30
	2	Calle Municipal/Plaza de Armas	521394	9063449	16-31 Marzo	
Puerto Callao-Yarinacocha	3	Av. Unión /Jr. César Vallejo	548013	9073444	1-15 Abril	45
	4	Av. Yarinacocha /Av. Salvador Allende	549318	9074549	16-30 Abril	
	5	Av. Miraflores /Jr. La Paz Del Señor	548014	9074468	1-15 Mayo	
Pucallpa -Callería	6	Jr. Inmaculada /Jr. Libertad	551549	9073765	16-30 Mayo	
	7	Jr. 7 de Junio/Jr. Zavala	550936	9073399	1-15 Junio	45
	8	Jr. Coronel Portillo/Jr. A. Vargas Guerra	551631	9072760	16-30 Junio	
Total						120

3.4. Procedimiento de recolección de datos.

3.4.1. Ubicación y registro del punto de monitoreo

Se procedió a ubicar y registrar el punto de monitoreo de acuerdo a los siguientes criterios:

- Condiciones logísticas (fácil acceso)
- Seguridad (lugar fuera de peligro)
- Condiciones técnicas (lugares libres y sin presencia de árboles o edificios, cercanos a 10 metros lineales como mínimo).
- Concentración de la población
- Mayor actividad comercial
- Mayor tránsito vehicular

3.4.2. Instalación del equipo

- Se colocó el trípode del equipo en el lugar seleccionado, viendo que no afecte al desplazamiento de las personas y sus respectivas actividades.
- Luego, se retiró el equipo con mucho cuidado, sujetando de la parte baja y de los lados donde no haya sensores. Tampoco se tiene que sujetar el equipo de la parte superior donde se encuentra el sensor de material particulado, que podría causar daños.
- Se aseguró la base del equipo al trípode con ayuda de tornillos, llegando a una altura de 1.60 m. Posterior a ello, en el equipo se muestra el diseño de una hoja, con el cual se orientará en línea con el “Este” (salida del sol), para después ajustar el trípode para que el equipo quede nivelado y no se genere movimiento.
- Con ayuda de cuerdas de nylon se ató el trípode a distintas superficies para fijarlo al suelo, evitando que el viento o la lluvia derribe el equipo. En caso de que en el área de instalación no haya barandas o postes donde asegurar el equipo, se asegura con clavos y martillo.
- En la parte inferior del equipo está el cable alimentador que se encaja a una ranura y se asegura, de tal manera que quede como una tapa rosca sin ejercer mucha presión.
- Luego, el equipo se conectó con la extensión y la unión se cubrió con bolsas de plástico y cinta aislante asegurando que no tenga entradas u orificios para evitar posible daño en caso de lluvias o corto circuito.
- Para finalizar se conectó el tomacorriente al enchufe principal y se activó el encendido del equipo con el interruptor que tiene al costado en la parte inferior. Después el equipo se active mostrando una luz morada y azul (esta coloración indica

que el equipo se está preparando) por alrededor de 5 minutos y luego pasó a color verde.

3.4.3. Funcionamiento del sistema

- **Módulo estático para monitoreo continuo de la calidad del aire**

  El módulo estático que es una parte del sistema monitora a través de sensores. Los sensores del equipo midieron los gases contaminantes expresados en ug/m3 (CO, SO2, H2S, NO2 y O3) funcionan con celdas electroquímicas, las cuales generan un flujo de electrones. El equipo se alimenta de red eléctrica y se encuentra conectado a una red de conexión wifi (interfaz celular GSM).

  Los sensores del equipo miden el polvo (PM2.5 y PM10) y funcionan con una tecnología de dispersión de luz, donde se mide la luz dispersada por partículas individuales transportadas en una corriente de aire de muestra a través de un rayo láser. Las cargas de masa de partículas se calculan a partir de los espectros de tamaño de partícula y los datos de concentración.

- **Software especializado que muestra la información de calidad del aire en tiempo real.**

  El sistema tiene un software especializado, este software se alimenta de la plataforma virtual, donde se visualiza información relacionada al monitoreo de los parámetros en tiempo programado y en tiempo real y el tablero de mando con los valores de los parámetros que definen la calidad del aire del lugar donde se encuentra el equipo.

3.4.4. Monitoreo de datos

El equipo genera datos de manera continua las 24 horas al día, durante 7 días a la semana y 365 días al año. Con el soporte de sensores y del sistema que posee, genera información de concentración horaria en la fecha y hora indicada de los siguientes parámetros:

a. CO (monóxido de carbono) en ug/m^3

b. H_2S (sulfuro de hidrógeno) en ug/m^3

c. NO_2 (dióxido de nitrógeno) en ug/m^3

d. O_3 (ozono) en ug/m^3

e. PM_{10} (material particulado de 10 micras) en ug/m^3

f. $PM_{2.5}$ (material particulado de 2.5 micras) en ug/m^3

g. SO_2 (dióxido de azufre) en ug/m^3

h. Fecha y hora.

3.4.5. Acceso y uso de la plataforma virtual

El acceso y uso a la plataforma virtual fue a través de un correo electrónico y contraseña del usuario. El acceso y uso es indefinido siempre y cuando el equipo esté funcionando y el usuario tenga la autorización correspondiente. El sistema no solo genera información de la concentración de parámetros, sino también, del índice de calidad del aire (INCA) en forma cualitativa, es decir, lo realiza con una calificación basada en colores (verde: calidad del aire buena, amarillo: calidad del aire moderada, naranja: calidad del aire en peligro y rojo: calidad del aire en umbral de cuidado).

3.4.6. Descarga de datos

Los archivos se descargaron en archivo con formato “csv”, una vez descargado, se pueden convertir archivos en formato Excel. Para ello, utilizamos la opción datos de Excel y la opción obtener datos externos, mediante el cual se obtiene una tabla ordenada por parámetros y fechas de monitoreo.

3.4.7. Tabulación de datos recopilados

Una vez que los datos fueron ordenados se proceden a su tabulación y compilación, de acuerdo a los parámetros medidos y periodo en que se las midió; para posteriormente obtener los resultados en forma de promedios, mínimos, máximos, desviación estándar y coeficiente de variación.

3.5. Técnicas de recolección

3.5.1. Técnicas y métodos

3.5.1.1. Determinación de concentración de gases.

Para la recolección de datos de concentración de gases (monóxido de carbono-CO, dióxido de azufre-SO_2, dióxido de nitrógeno-NO_2, hidrógeno sulfurado-H_2S y Ozono-O_3) en los puntos seleccionados, se empleó el equipo automático de monitoreo continuo "qHAWAX", programado en intervalos de 60 minutos y de manera ininterrumpida durante 24 horas del día. Los sensores que miden los gases contaminantes (CO, SO_2, H_2S, NO_2 y O_3) funcionan con celdas electroquímicas, las cuales generan un flujo de electrones. El equipo se alimenta de red eléctrica y se encuentra conectado a una red de conexión wifi (interfaz celular GSM).

La recolección de datos se realizó teniendo en cuenta la metodología establecida por el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del aire (MINAM, 2019), en donde se describen las técnicas y los procedimientos para el monitoreo.

Los resultados posteriores se compararon en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos por la autoridad nacional ambiental (MINAM, 2017).

Para el funcionamiento y monitoreo se tuvieron las siguientes consideraciones:

- El equipo de muestreo se ubicó a 3 m de altura con ayuda de andamios y el trípode que soporta el módulo "qHAWAX".
- La distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo estuvo mayor a 2.5 veces la diferencia de las alturas (altura del obstáculo – altura de la entrada de la muestra). Los obstáculos identificados fueron árboles y edificio de 3 pisos.
- La distancia horizontal respecto a fuentes de emisiones cercanas estuvo mayor a 20 m.

- El equipo de monitoreo estuvo ubicado de tal manera que los obstáculos no evitaron el ingreso de flujo de aire.

3.5.1.2. Determinación de la concentración de material particulado.

Para la recopilación de datos de concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), también se empleó el equipo automático de monitoreo continuo "qHAWAX", programados a intervalos de 60 minutos y de manera ininterrumpida durante 24 horas del día. Los sensores del equipo miden el polvo ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) funcionan con una tecnología de dispersión de luz donde se mide la luz dispersada por partículas individuales transportadas en una corriente de aire de muestra a través de un rayo láser. Las cargas de masa de partículas se calculan a partir de los espectros de tamaño de partícula y los datos de concentración.

Asimismo, se empleó la metodología establecida por el Protocolo Nacional de Monitoreo (MINAM, 2019), y los resultados posteriores fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Aire vigentes (MINAM, 2017).

3.5.1.3. Determinación del índice de calidad del aire

Los valores del Índice de Calidad del Aire (INCA) fueron calculados en base a los datos recopilados durante 120 días en los 3 distritos estudiados y tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA-Aire) y como rango final, el valor umbral de aplicación de los Niveles de Estados de Alerta.

La determinación matemática del INCA para cada contaminante en las ecuaciones se basó en una relación entre el valor registrado de la concentración del contaminante (indicado entre corchetes) y su correspondiente valor del estándar de calidad ambiental para cada caso (MINAM, 2016). Los valores de los índices de Calidad del aire fueron calculados aplicando las ecuaciones establecidas en la metodología para calcular el Índice de Calidad del aire-INCA (MINAM, 2016), las cuales se indican en las tablas siguientes.

Tabla 11

Índice de Calidad del Aire para PM_{10}

Calificación	Material particulado (PM_{10}) promedio 24 horas		
	Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
Verde	0 – 50	0-75	$I(PM_{10}) = [PM_{10}] * 100/100$
Amarillo	51 – 100	76-150	
Naranja	101 - 167	151-250	
Rojo	>167	>250	

Tabla 12

Índice de Calidad del Aire para SO_2

Calificación	Dióxido de azufre (SO_2) promedio 24 horas		
	Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
Verde	0 - 50	0-10	I (SO2) =[SO2]* 100/250
Amarillo	51 - 100	Nov-20	
Naranja	101 - 627	21-500	
Rojo	>625	>500	

Tabla 13

Índice de Calidad del Aire para H_2S

Calificación	Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) promedio 24 horas		
	Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
Verde	0 - 50	0-75	$I(H_2S) = [H_2S] * 100/150$
Amarillo	51 - 100	76-150	
Naranja	101 - 1000	151-500	
Rojo	>1000	>1500	

Tabla 14

Índice de Calidad del Aire para NO_2

Calificación	Dióxido de nitrógeno (NO_2) promedio 1 hora		
	Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m^3$)	Ecuación
Verde	0 - 50	0-100	$I(NO_2) = [NO_2]^* 100/200$
Amarillo	51 - 100	101-200	
Naranja	101 - 150	201-300	
Rojo	>150	>300	

Tabla 15

Índice de Calidad del Aire para CO

Calificación	Monóxido de carbono (CO) promedio 8 horas		
	Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu g/m_3$)	Ecuación
Verde	0 - 50	0-5049	$I(CO)=[CO]^* 100/10000$
Amarillo	51 - 100	5050-10049	
Naranja	101 - 150	10050-15049	
Rojo	>150	>15050	

3.6. Instrumentos de recolección

- Formato de identificación de la zona de muestreo.
- Formatos de recopilación de datos de material Particulado:
  - Formato para PM_{10} ($\mu g/m^3$)
  - Formato para $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
- Formatos de recopilación de datos de gases:
- Formato para Monóxido de carbono (CO)
- Formato para Dióxido de azufre (SO_2)
- Formato para Dióxido de Nitrógeno (NO_2)
- Formato para Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)
- Formato para ozono (O_3)

- Protocolo nacional sobre monitoreo de calidad del aire (MINAM, 2019).
- Actualización de los estándares de calidad ambiental del aire (MINAM, 2017).
- Guía para la determinación del índice de Calidad del aire “INCA”- (MINAM, 2016).

3.7. Materiales y/o equipos

Materiales:

- Útiles de escritorio
- Tableros de campo
- Andamios de metal, de 2 cuerpos
- Trípode para el equipo de monitoreo
- Extensiones eléctricas
- Insumos para la instalación
- Llaves para la instalación

Equipos:

- Global Positioning System (GPS), se utilizó para georreferenciar los puntos de monitoreo mostrando las coordenadas espaciales.
- El equipo qHAWAX, es un módulo de monitoreo continuo de calidad del aire desarrollado por qAIRa, el cual se empleó para el monitoreo de 5 gases contaminantes: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). Además, fue para monitorear la cantidad de material particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10}) en el aire. Dicho equipo, fue proporcionado por el Proyecto de Investigación en Calidad del Aire que ejecuta la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
- Laptop. Computadora portátil de peso y tamaño ligero, fue utilizada para el procesamiento y tratamiento de datos, así como, para la digitación del informe final.

- Cámara Fotográfica. Utilizada para registrar imágenes durante el desarrollo de la tesis.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el programa Excel 2016, dando como resultado tablas y figuras en forma de barras, gráficos y líneas, con sus respectivos parámetros estadísticos como promedio, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación.

Para el análisis estadístico inferencial, se empleó la prueba paramétrica de Pearson, con la finalidad de determinar la correlación entre las variables estudiadas. Asimismo, se aplicó el análisis de regresión lineal, teniendo en cuenta las siguientes variables:

- **x**: Tiempo de muestreo en número de días y horas (variable independiente).
- **y:** Índice de calidad del aire (variable dependiente) de los parámetros de gases (CO, NO2, SO2, H2S y O3); y material particulado (PM10 y PM2.5).

El análisis de variancia se realizó con el objetivo de determinar si existe significancia entre variables estudiadas, con un nivel de significancia de 0.05 (α=0.05).

Capítulo IV.

Resultados y Discusión

4.1. Calidad del aire por monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2) y dióxido de azufre (SO_2) por punto de muestreo.

En la tabla 16, se observa que, de acuerdo a los valores de CO, NO_2 y SO_2, en los distritos estudiados, el índice de calidad del aire (INCA) más alto corresponde a las zonas urbanas del distrito de Callería (34.88 µg/m^3), mientras que el valor más bajo corresponde a las zonas urbanas del distrito de Campo Verde (30.41 µg/m^3). Estos valores promedios del INCA se encuentran dentro del rango de 0 a 50 µg/m^3, lo que quiere decir, que el INCA tiene una calificación buena, es decir, la calidad del aire es aceptable y no representa un riesgo para la salud, lo cual concuerda a lo que establece MINAM (2016). Por tanto, la calidad del aire cumple con el ECA aire (MINAM, 2017), es decir, los datos encontrados no superan los 10000 µg/m^3 para monóxido de carbono, los 200 µg/m^3 para dióxido de nitrógeno y los 250 µg/m^3 para dióxido de azufre; por lo tanto, se recomienda realizar actividades al aire libre (MINAM, 2016).

Tabla 16

Índice de calidad del aire-INCA por distrito, según CO, NO_2 y SO_2 (en µg/m^3)

Tipo de contaminante	Estadísticas	Puntos de muestreo según distritos estudiados							
		Campo Verde		Yarinacocha			Callería		
		1	2	3	4	5	6	7	8
CO	INCA POR	31.43	29.39	30.74	33.19	36.64	32.94	32.55	39.16
NO_2	PUNTO DE	17.97	17.54	17.84	17.24	17.07	18.20	18.11	17.44
SO_2	MUESTREO	5.23	4.63	4.46	4.46	5.04	5.89	5.86	5.93
CO	INCA POR	**30.41 / Buena**		**33.52 / Buena**			**34.88 / Buena**		
NO_2	DISTRITO	**17.76 / Buena**		**17.38 / Buena**			**17.91 / Buena**		
SO_2		**4.93 / Buena**		**4.65 / Buena**			**5.89 / Buena**		

Color verde= Nivel de calificación "Buena" según el INCA (MINAM, 2016)

En la figura 1, se observa que, en los puntos de muestreo de los distritos estudiados, los valores promedio del INCA de CO no superan los 50 µg/m^3, siendo el valor máximo de 39.2 µg/m^3 y corresponde al punto 8 de muestreo ubicado en el distrito Callería, en la intersección de Jr. Coronel Portillo y Alfredo Vargas Guerra. Mientras que, el valor mínimo de 29.4 µg/m^3 corresponde al punto 2 de muestreo, ubicado en Calle Municipal del distrito de Campo Verde.

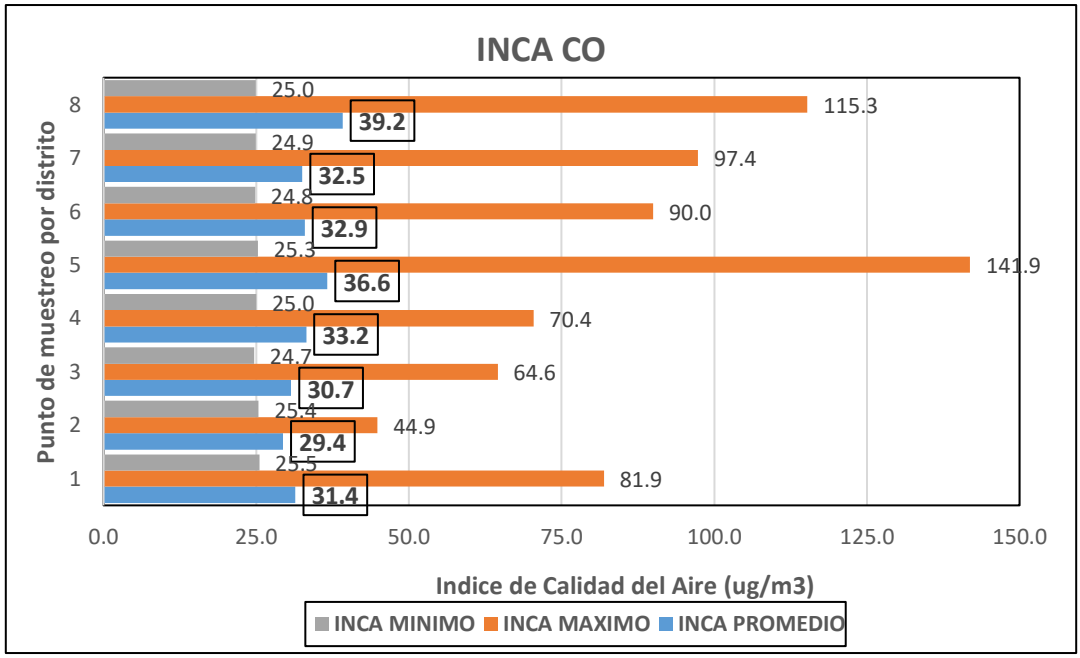
Asimismo, observamos que los valores máximos del INCA en el punto 5 de muestreo del distrito de Yarinacocha (141.9 µg/m^3) y en el punto 8 de muestreo, del distrito Callería (115.3 µg/m^3). Si estos datos comparamos con los valores del INCA, podemos decir que se encuentran en el nivel de calificación mala. En tal sentido, la población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podría experimentar problemas de salud y la población en general podría sentirse afectada. En este caso, se recomienda evitar realizar ejercicios y actividades al aire libre.

(Lay Luna & Rios Rodriguez, 2021), estudiaron los niveles de monóxido de carbono en el centro urbano de Pucallpa, deduciendo que el índice de calidad del aire promedio para CO fue de 17.9 µg/m^3, con una máxima de 71,2 µg/m^3 y una mínima de 2.1 µg/m^3, llegando a la conclusión que la precipitación ha incidido de manera importante en la dispersión de los gases, así como la velocidad de los vientos. Comparando con los resultados del presente estudio, el valor promedio de CO supera en 50% (34.88 µg/m^3), por el punto 8 de Jr. Coronel Portillo con Alfredo Vargas Guerra de Pucallpa. Esto podría deberse a que en el momento del monitoreo no se observó precipitaciones que puedan reducir la concentración de CO. Si bien es cierto que la variable tiempo no tiene relación con el valor del INCA, sin embargo, según (Manrique, 2017) concluye que, la precipitación, la temperatura y la velocidad de los vientos, juegan un papel importante en la concentración de contaminantes de CO y por ende en la calidad del aire de un determinado lugar. Por otro

lado, (Lay Luna & Rios Rodriguez, 2021) encontraron que, el mayor tránsito vehicular tiene una correlación positiva con la concentración de CO en el centro urbano de Pucallpa, lo que coincide con el punto 8 de muestreo estudiado (Jr. Coronel Portillo/Jr. Alfredo cargas Guerra), cuyo valor del índice de calidad del aire es mayor que los demás en este punto (39.16 µg/m^3).

Figura 1

INCA promedio, máximo y mínimo de CO, según punto de muestreo

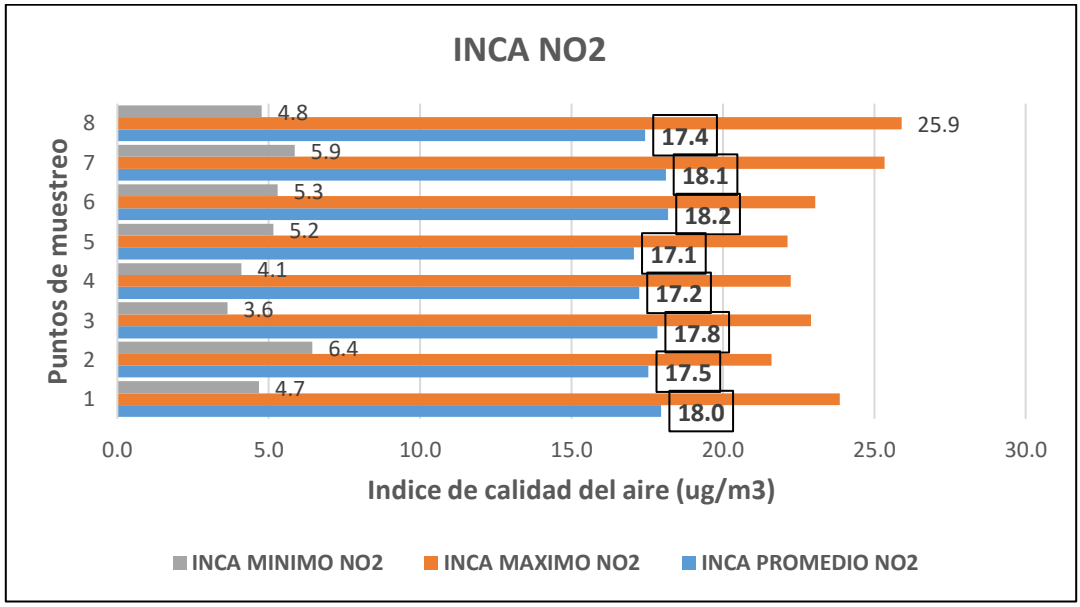


En la figura 2, se observa que los valores calculados del índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO2) son bajos, en comparación con los valores establecidos del índice de calidad del aire por MINAM (50 µg/m^3). En función a estos resultados, todos los puntos de muestreo evaluados tienen calificación buena, con un promedio INCA que fluctúa entre 17.1 µg/m^3 registrado en el punto 5 de la Av. Miraflores con Jr. La Paz del Señor en el distrito Yarinacocha; y de 18.2 µg/m^3 registrado en el punto 6 de Jr. Inmaculada con Jr. Libertad del distrito Callería. Al respecto, (Manrique, 2017), en su estudio sobre calidad del aire en la ciudad de Huaraz, encontró que el INCA por NO2 varía entre 2.35 y 5.85 µg/m^3, valores que son menores a los encontrados en el presente estudio. Esta

diferencia podría estar relacionado a la influencia que han tenido factores meteorológicos como temperatura, precipitación y viento. Es así, que los resultados obtenidos dependen del tiempo de medición, en el caso de INCA para monóxido de carbono y material particulado la correlación entre variables es alta.

Figura 2

INCA promedio, máximo y mínimo de NO_2 por punto de muestreo



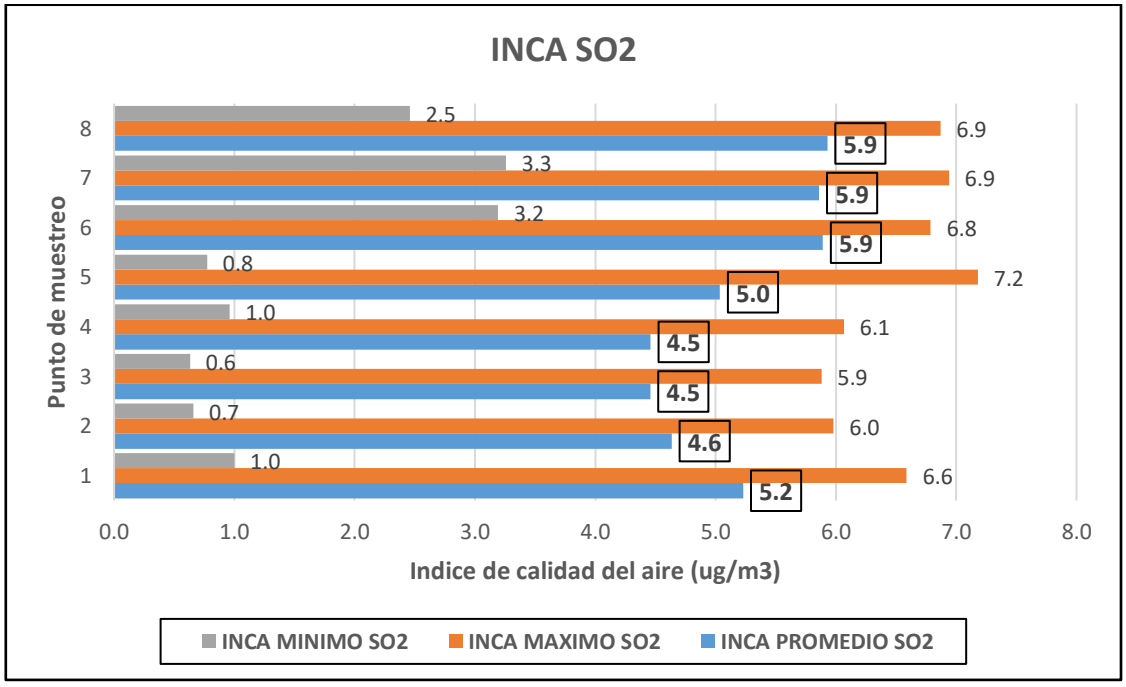
En la figura 3, se muestra que para sulfuro de hidrógeno (SO2), los valores del INCA promedio varían, según punto de muestreo, entre 4.5 y 5.9 µg/m^3; por su parte en estudio sobre la contaminación del aire, realizado en el Distrito de Villa María del Triunfo de Lima, (Marin Linares, 2019), encontró que el promedio INCA por SO2 es menor (2,41 µg/m^3) al encontrado en el presente estudio entre 4.5 y 5.9 µg/m^3).

Los valores máximos varían entre 5.9 y 7.2 µg/m^3, que están por debajo de lo encontrado por (Marin Linares, 2019), equivalente a 17,4 µg/m^3. Mientras que, los valores más bajos también varían según punto de muestreo y se encuentran entre 0.6 y 3.3 µg/m^3, observando que, los valores más altos se encuentran en los puntos urbanos de los distritos de Yarinacocha y Callería. A pesar de ello, el índice de calidad del aire por dióxido de azufre

(SO2) tiene una calificación “Buena” por encontrarse por debajo de los rangos normales (0-50 µg/m^3), lo que quiere decir, que está acorde con los estándares de calidad ambiental y según MINAM (2016), no existe riesgo para la salud de la población sensible (niños y personas mayores a 60 años).

Figura 3

INCA promedio, máximo y mínimo de SO_2 por punto de muestreo



4.2. Calidad del aire por material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en los puntos de muestreo de los distritos estudiados.

En la tabla 17, se puede mostrar que, el mayor índice de calidad del aire (INCA) para PM10 es 60.24 µg/m^3 y corresponde a los puntos del distrito Callería, mientras que el valor del INCA más bajo corresponde a puntos 1 y 2 del distrito Campo Verde (35.05 y 33.05 µg/m^3). De acuerdo con estos resultados podemos indicar que el INCA para Campo Verde y Yarinacocha tienen una calificación buena, es decir, que la calidad del aire es aceptable, cumple con el ECA aire y no representa un riesgo para la salud. Mientras que para Callería la calificación del INCA por PM_{10} es moderada, es decir, que la calidad del aire es aceptable,

no representa un riesgo para la salud y se puede realizar actividades al aire libre, pero, con ciertas restricciones para la población sensible.

(Rodríguez Calampa, 2017), determinó la concentración de material particulado PM_{10} en vías urbanas de la ciudad de Tarapoto, para 2 estaciones los resultados registrados del INCA fueron de 33.99 y 37.88 µg/m^3, y según refiere que los resultados son influidos principalmente por el flujo vehicular presente, ya que estas vías son de principal acceso al centro de la ciudad Tarapoto. Estos valores son menores a los encontrados en el presente estudio, 34.05 µg/m^3 en Campo Verde, 44.31 µg/m^3 en Yarinacocha y 60.24 µg/m^3 en Callería; uno de los principales factores podría estar relacionado con el tránsito vehicular, principalmente en el punto 8 que se ubica en el centro comercial de Pucallpa y cerca de allí se realizan diversas actividades comerciales y portuarias que se relacionan con la venta de productos agrícolas y pesqueros, y de empresas logísticas cuya operación generan material particulado.

Los valores de INCA para $PM_{2.5}$ se califican de "Buena" en los distritos de Campo Verde (21.24 µg/m^3), Yarinacocha (29.51 µg/m^3) y Callería (44.32 µg/m^3) por estar debajo de los 50 µg/m^3, límite establecido por MINAM (2016) para el índice de calidad del aire.

Tabla 17

Índice de calidad del aire-INCA por distrito, según PM_{10} y $PM_{2.5}$ (en µg/m^3)

Tipo de contaminante	Estadísticas	Puntos de muestreo según distritos estudiados							
		Campo Verde			Yarinacocha		Callería		
		1	2	3	4	5	6	7	8
PM_{10}	INCA POR PUNTO DE MUESTRO	35.05	33.05	38.93	44.20	49.80	52.99	43.92	83.82
$PM_{2.5}$		22.13	20.34	22.07	28.50	37.97	34.95	25.79	72.22
INCA PM_{10}	INCA POR DISTRITO	**34.05 / Baja**			**44.31 / Baja**		**60.24 / Moderada**		
INCA $PM_{2.5}$		**21.24 / Baja**			**29.51 / Baja**		**44.32 / Baja**		

Color verde= Nivel de calificación "Buena" según el INCA (MINAM, 2016)
Color amarillo= Nivel de calificación "Moderada" según el INCA (MINAM, 2016)

En la figura 4, se muestran que los valores promedios de INCA para PM_{10} de los puntos de muestreo, se encuentran entre 33.1 µg/m^3 del punto 2 de Campo Verde y 83.8

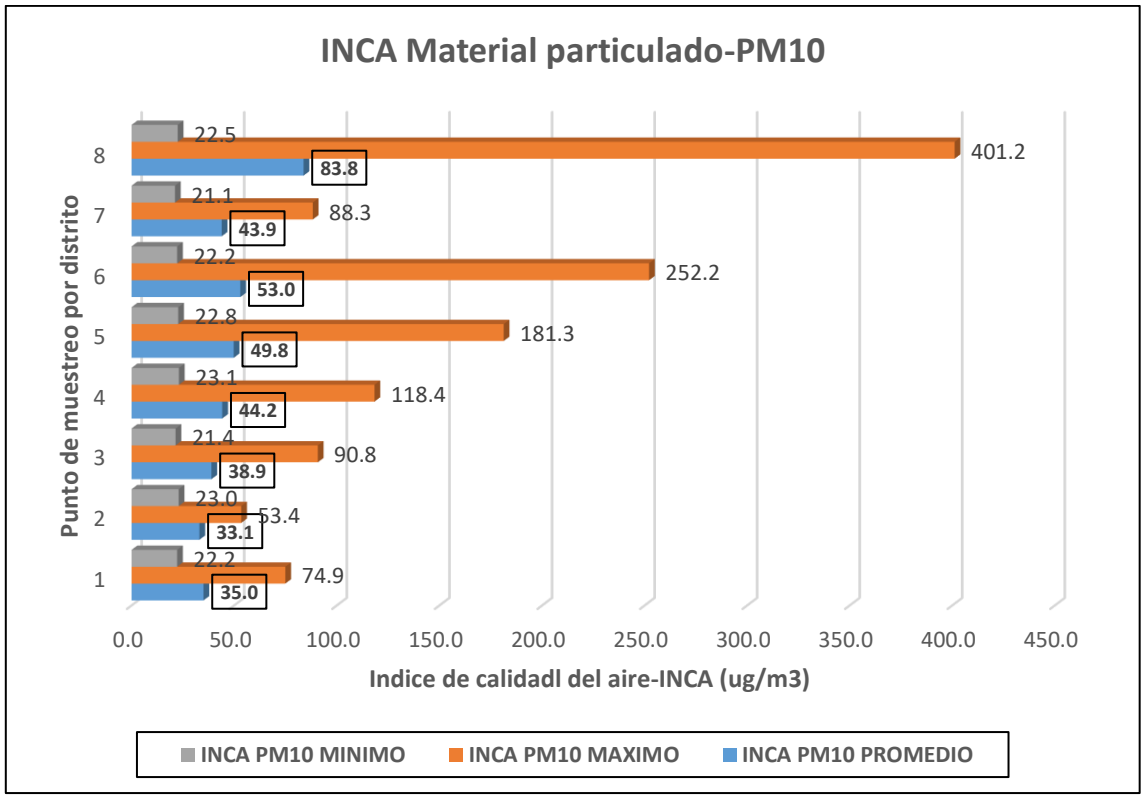
µg/m^3 del punto 8 de Callería. Para el promedio más bajo, el INCA está calificado como "Buena" por no superar los 50 µg/m^3, cumple con el ECA aire y en estas condiciones no existe riesgo de salud para la salud de la población. Para el promedio más alto, el INCA está calificado como "Moderada" por no superar los 100 µg/m^3, en estas condiciones si existe riesgo de salud para la población sensible. En estudio realizado por Barrientos y Espinoza (2021) sobre evaluación de la calidad del aire por emisión de material particulado, encontraron un promedio de PM_{10} igual a 101.92 µg/m^3, valor que está por encima de lo encontrado en el distrito Callería (60.24 µg/m^3), esto se debe a que los valores medidos fueron en pistas construidas, mientras que el estudio de referencia fue realizado en la construcción de pistas y veredas, lo cual genera mayor concentración de PM_{10} y por ende, mayor índice de calidad del aire.

En cuanto a los valores máximos del INCA para PM_{10} varían desde 58.4 hasta 401.2 µg/m^3, según los puntos muestreados, los cuales indican que en algún momento del tiempo ha existido una calidad del aire "Moderada" para los puntos 1,2 de Campo Verde, 3 de Yarinacocha y punto 7 de Callería (mayor a 50 µg/m^3). La calificación de calidad de aire "Mala" corresponde al punto 4 de Yarinacocha (Mayor a 100 µg/m^3) y la calidad del aire "Extrema" corresponde al punto 5 de Yarinacocha y para los puntos 6 y 8 de Callería (Mayor a 167 µg/m^3). Todos los valores máximos representan riesgo para la salud de los niños, madres gestantes y adultos mayores.

Mientras que los valores mínimos de INCA para PM10 varían entre 21.1 µg/m^3 para el punto de muestreo 7 del distrito Callería y 23.1 µg/m^3 para el punto 4 del distrito Yarinacocha. Ninguno de los valores mínimos representa riesgo para la salud de la población.

Figura 4

INCA promedio, máximo y mínimo de PM_{10}, según punto de muestreo



En la figura 5, se muestran los valores promedios del INCA para todos los puntos muestreados. El mayor valor de INCA promedio corresponde al punto 8 de Callería (72.2 µg/m^3). El valor promedio del INCA más bajo corresponde al punto 2 del distrito Campo Verde (20.3 µg/m^3). Según estudio realizado por Barrientos y Espinoza (2021) sobre evaluación de la calidad del aire por emisión de material particulado ($PM_{2.5}$), encontraron un promedio INCA de $PM_{2.5}$ equivalente a 111.56 µg/m^3, valor superior a lo encontrado por el presente estudio, a pesar de ello existe riesgo de salud en la población sensible.

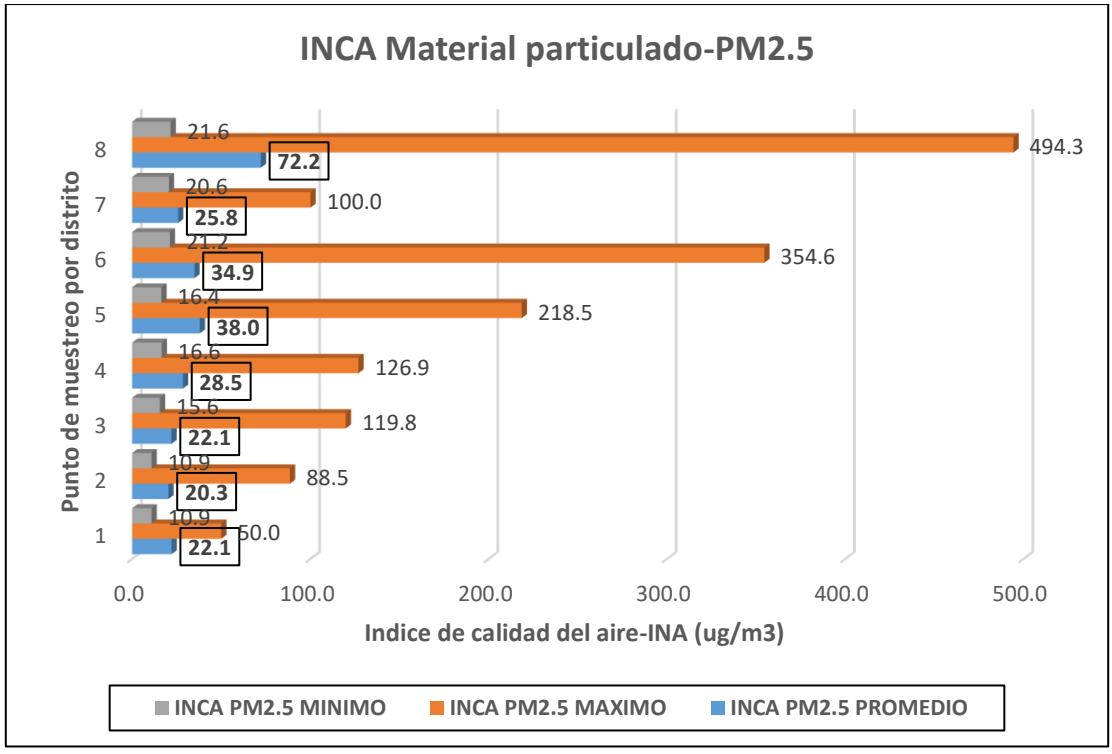
En cuanto a los valores máximos del INCA para $PM_{2.5}$ varían desde 50 hasta 494.3 µg/m^3, según los puntos muestreados, los cuales indican que en algún momento del tiempo ha existido una calidad del aire “Moderada” para los puntos 2 de Campo Verde y punto 7 de Callería (mayor a 50 µg/m^3). La calificación de calidad de aire “Mala” corresponde al

punto 3 y 4 de Yarinacocha (Mayor a 100 µg/m^3) y la calidad del aire “Extrema” corresponde al punto 5 de Yarinacocha y para los puntos 6 y 8 de Callería (Mayor a 167 µg/m^3). Según MINAM (2016), todos los valores máximos representan riesgo para la salud de los niños, madres gestantes y adultos mayores.

Mientras que los valores mínimos de INCA para PM2.5 varían entre 10.9 µg/m^3 para el punto de muestreo 1 del distrito Campo Verde y 21.6 µg/m^3 para el punto 8 del distrito Callería. Ninguno de los valores mínimos representa riesgo para la salud de la población.

Figura 5

INCA promedio, máximo y mínimo de $PM_{2.5}$, según punto de muestreo



4.3. Índice de calidad del aire por distrito, según H_2S y O_3

En la tabla 18, se puede mostrar que, el mayor índice de calidad del aire (INCA) para Sulfuro de Hidrógeno (H2S) en relación con los distritos estudiados es, 22.34 µg/m^3, y corresponde a los puntos del distrito Callería, mientras que el valor del INCA más bajo corresponde a puntos del distrito Campo Verde (22.04 µg/m^3). De acuerdo con estos

resultados podemos indicar que el INCA de H_2S para todos los distritos tiene una calificación buena, es decir, que la calidad del aire es aceptable, cumple con el ECA aire y no representa un riesgo para la salud. (Lay Luna & Rios Rodriguez, 2021) en estudio realizado en el centro de Pucallpa, encontraron valor similar (22.70 µg/m^3) al valor encontrado en el presente estudio (22.04 µg/m^3). Asimismo, (Benites Vela & García Arce, 2020), realizaron evaluación de la calidad del aire por H_2S en el sector Cercado de la ciudad de Tarapoto, en donde encontraron que el promedio Inca por H_2S es menor a 2 µg/m^3, concluyendo que la calidad del aire es buena y permisible para la calidad de vida. Estas concentraciones son menores a las encontradas en el presente estudio, el origen podría estar relacionado a los caños naturales y al inadecuado sistema de desagüe al aire libre, que existe en la ciudad de Pucallpa, desde donde se podría estar generando este contaminante, para ello se tendría que realizar un estudio determine fehacientemente esta teoría.

Mientras que, el mayor valor promedio de índice de calidad del aire (INCA) para ozono (O_3) es de 29.73 µg/m^3 y corresponde al distrito de Campo Verde, mientras que el valor del INCA de O_3 más bajo corresponde a puntos del distrito Callería (28.66 µg/m^3). De acuerdo a estos resultados podemos indicar que el INCA de Ozono para todos los distritos tiene una calificación buena, es decir, que la calidad del aire es aceptable, cumple con el ECA aire y no representa un riesgo para la salud. Al respecto, el estudio de (Manrique, 2017) sobre calidad del aire de ozono en la ciudad de Huaraz, determinó un promedio de INCA por ozono equivalente a 36 µg/m^3, valor superior al encontrado en el presente estudio.

Tabla 18

Índice de calidad del aire por sulfuro de hidrógeno (H_2S) y ozono (O_3) en µg/m³

Tipo de contaminante	Estadísticos	Puntos de muestreo por distrito							
		Campo Verde		Yarinacocha			Callería		
		1	2	3	4	5	6	7	8
INCA H_2S	INCA POR PUNTO DE MUESTREO	22.20	21.89	21.98	22.23	22.39	22.12	22.06	22.85
INCA O_3		29.93	29.53	29.17	29.05	28.95	29.21	28.83	27.95
INCA H_2S	INCA POR DISTRITO	22.04 / Baja		22.20 / Baja			22.34 / Baja		
INCA O_3		29.73 / Baja		29.06 / Baja			28.66 / Baja		

Color verde= Nivel de calificación “Buena” según el INCA (MINAM, 2016)

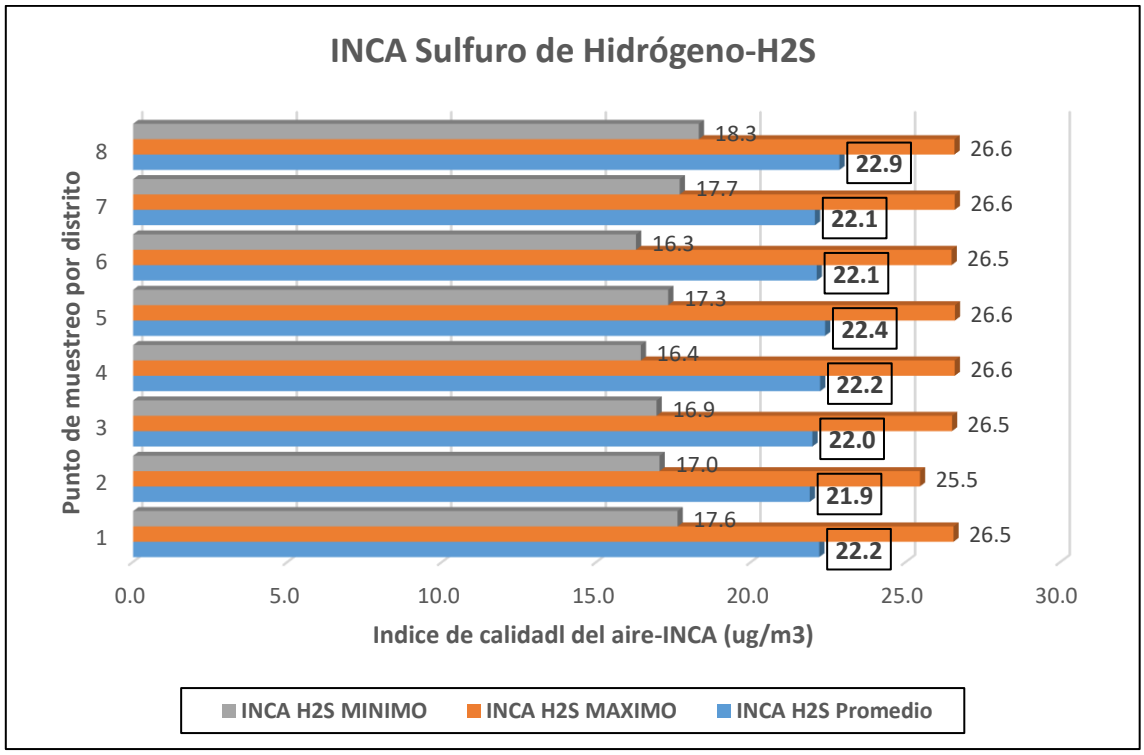
En la figura 6, se muestran los valores promedios de todos los puntos muestreados. De acuerdo a los valores para H_2S, el mayor índice de calidad del aire (INCA) corresponde al punto 8 de Callería (22.9 µg/m³) y punto 5 de Yarinacocha (22.4 µg/m³). Los valores promedios del INCA más bajos corresponden al punto 2 de Campo Verde (21.9 µg/m³) y punto 6 de Callería (22.1 µg/m³).

En cuanto a los valores máximos del INCA para H_2S varían desde 25.5 hasta 26.6 µg/m³, según los puntos muestreados, los cuales indican que existe una calidad del aire “Buena” para todos los puntos muestreados. Según MINAM (2016), todos los valores máximos cumplen con el ECA aire, la calidad del aire tiene calificación “Buena” y no representan riesgo para la salud de los niños, madres gestantes y adultos mayores.

Mientras que los valores mínimos de INCA para H2S varían entre 16.3 µg/m³ para el punto de muestreo 7 y 18.3 µg/m³ para el punto 8 del distrito Callería. Todos los valores mínimos cumplen con el ECA aire, la calidad del aire es “Buena” y no representan ningún riesgo para la salud de la población.

Figura 6

INCA promedio, máximo y mínimo de H_2S, según punto de muestreo



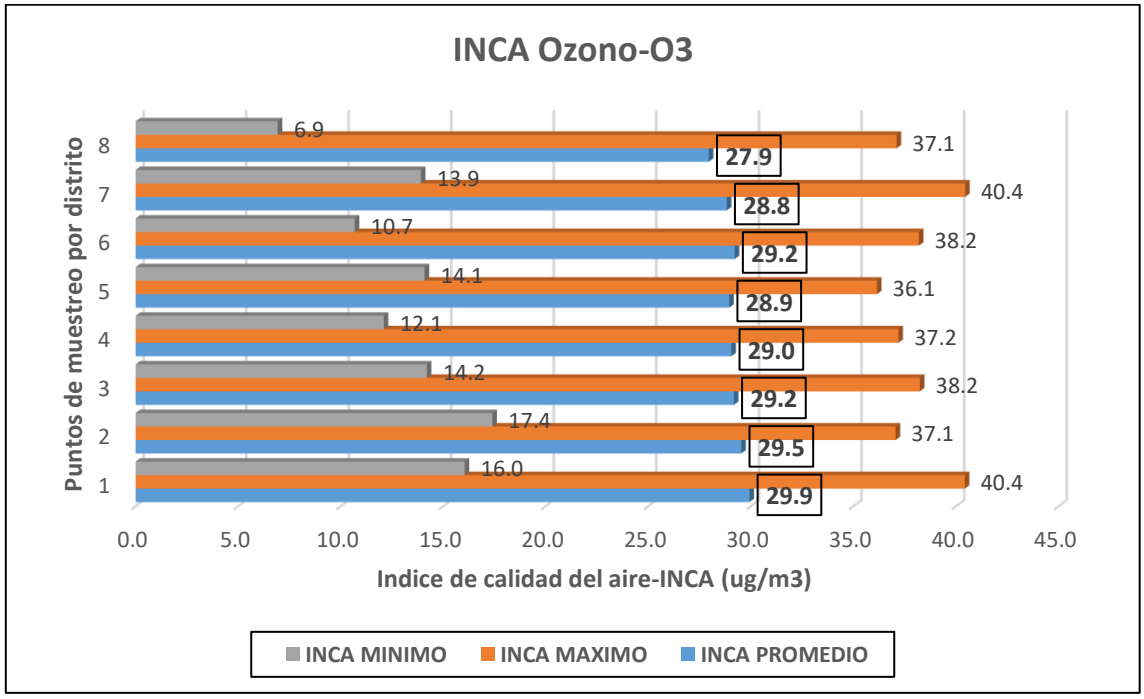
En la figura 7, se muestran los valores promedios de todos los puntos muestreados. De acuerdo a los valores para ozono, el mayor índice de calidad del aire (INCA) corresponde al punto 1 de Campo Verde (29.9 µg/m^3) y punto 8 de Callería (27.4 µg/m^3). Los valores promedios del INCA más bajos corresponden al punto 8 (6.9 µg/m^3) y punto 6 del distrito Callería (10.7 µg/m^3).

En cuanto a los valores máximos del INCA para ozono varían desde 36.1 hasta 40.4 µg/m^3, según los puntos muestreados, los cuales indican que existe una calidad del aire “Buena” para todos los puntos muestreados. Según MINAM (2016), todos los valores máximos cumplen con el ECA aire y no representan ningún riesgo para la salud de los niños, madres gestantes y adultos mayores.

Mientras que los valores mínimos de INCA para ozono varían entre 6.9 µg/m^3 para el punto de muestreo 8 del distrito de Callería y 17.4 µg/m^3 para el punto 2 del distrito Campo Verde. Todos los valores mínimos cumplen con el ECA aire, la calidad del aire es “Buena” y no representan ningún riesgo para la salud de la población.

Figura 7

INCA promedio, máximo y mínimo de O_3, según punto de muestreo



4.4. Variaciones del Índice de calidad del aire-INCA en el distrito de Campo Verde.

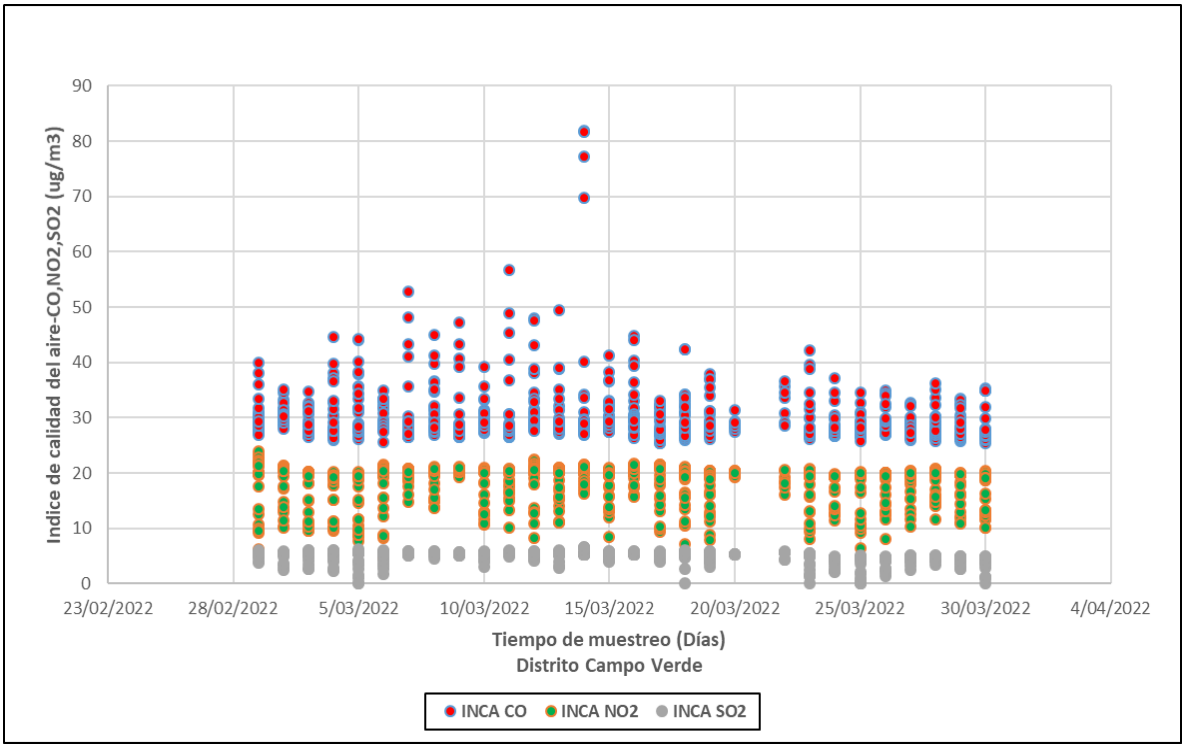
La figura 8, muestra la relación entre tiempo de muestreo (días) e índice de la calidad del aire (INCA) por monóxido de carbono-CO, Dióxido de nitrógeno-NO_2 y Dióxido de Azufre-SO_2 de los lugares muestreados en Campo Verde. En la figura se observa que, los puntos observados están distribuidos a cada lado con cierta tendencia a la recta, el mismo que refleja una variación del INCA de CO, NO_2 y SO_2 respecto a la variable tiempo.

Por otro lado, podemos apreciar que, solo valores del INCA CO superan los 50 µg/m^3, dando a entender que entre el 7 y el 15 de marzo se llegó a tener una calidad del

aire “Moderada**”,** que si bien es cierto es aceptable, pero con restricciones para realizar actividades al aire libre y con riesgos en la salud de la población.

Figura 8

Comportamiento del INCA de CO, NO_2 y SO_2 en distrito Campo Verde

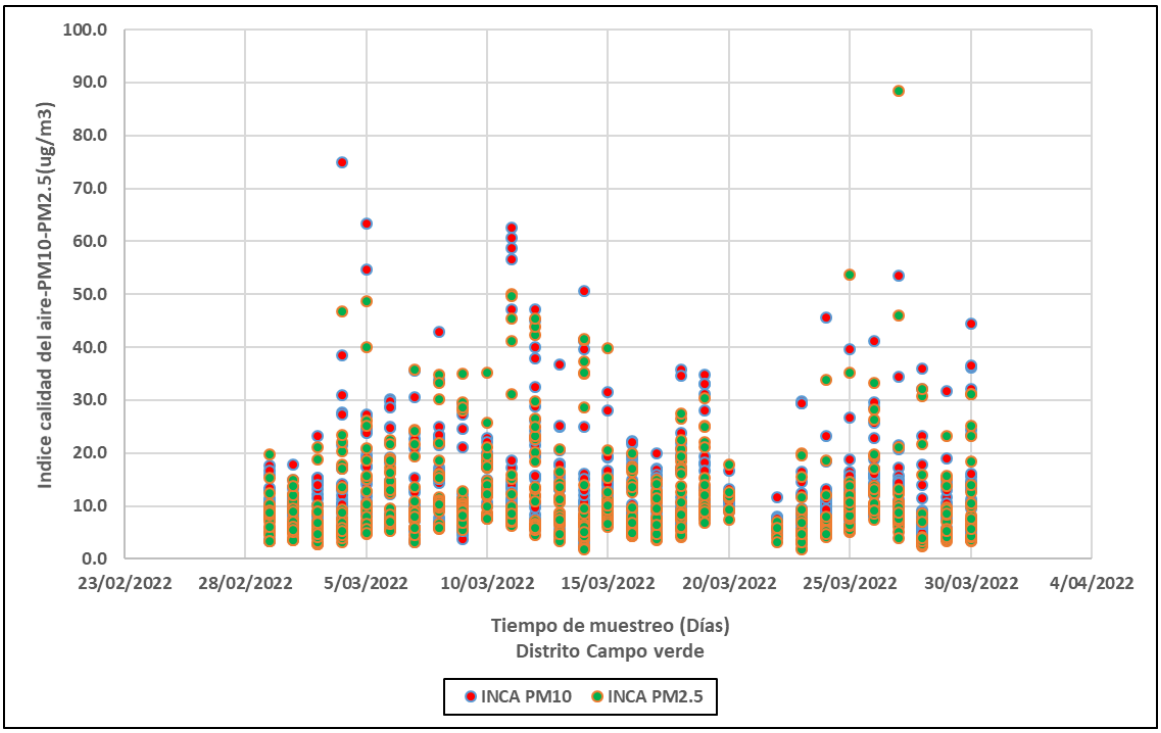


En la figura 9, muestra la relación del tiempo de muestreo (días) e índice de la calidad del aire (INCA) por PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los lugares muestreados en Campo Verde. En la figura se observa que, los puntos observados están distribuidos a cada lado con cierta tendencia a la agrupación de datos, el mismo que se refleja en una variación del INCA de PM_{10} y $PM_{2.5}$ respecto a la variable tiempo.

También apreciamos que, algunos valores del INCA PM_{10} y $PM_{2.5}$, superan los 50 $\mu g/m^3$, dando entender que en este lapso de tiempo (entre 5 y 10 de marzo) se llegó a tener una calidad del aire “Moderada”, con lo cual hacer actividades al aire libre resulta riesgoso para la salud de la población.

Figura 9

Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en Campo Verde

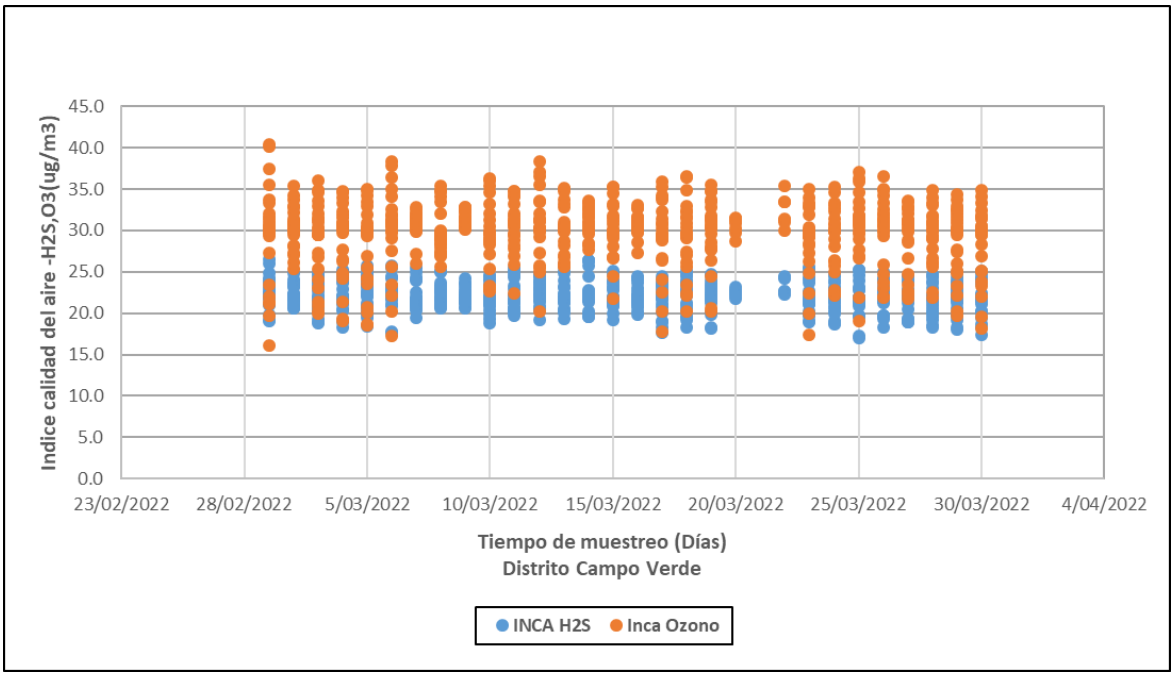


La figura 10, muestra la relación del tiempo de muestreo (días) e índice de la calidad del aire (INCA) por H_2S y O_3 de los lugares muestreados en Campo Verde. En la figura se observa que, los puntos observados están distribuidos a cada lado con cierta tendencia a la agrupación de datos, el mismo que se refleja en una variación del INCA por día de H_2S y O_3 respecto a la variable tiempo.

Apreciamos que, los valores del INCA H_2S y O_3, no superan los 50 µg/m^3, concluyendo que la calidad del aire es "Buena**",** con lo cual no existe restricciones para realizar actividades al aire libre, ni existe riesgo para la salud de la población sensible.

Figura 10

Comportamiento del índice de calidad del aire de Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) y Ozono (O_3) en Campo Verde



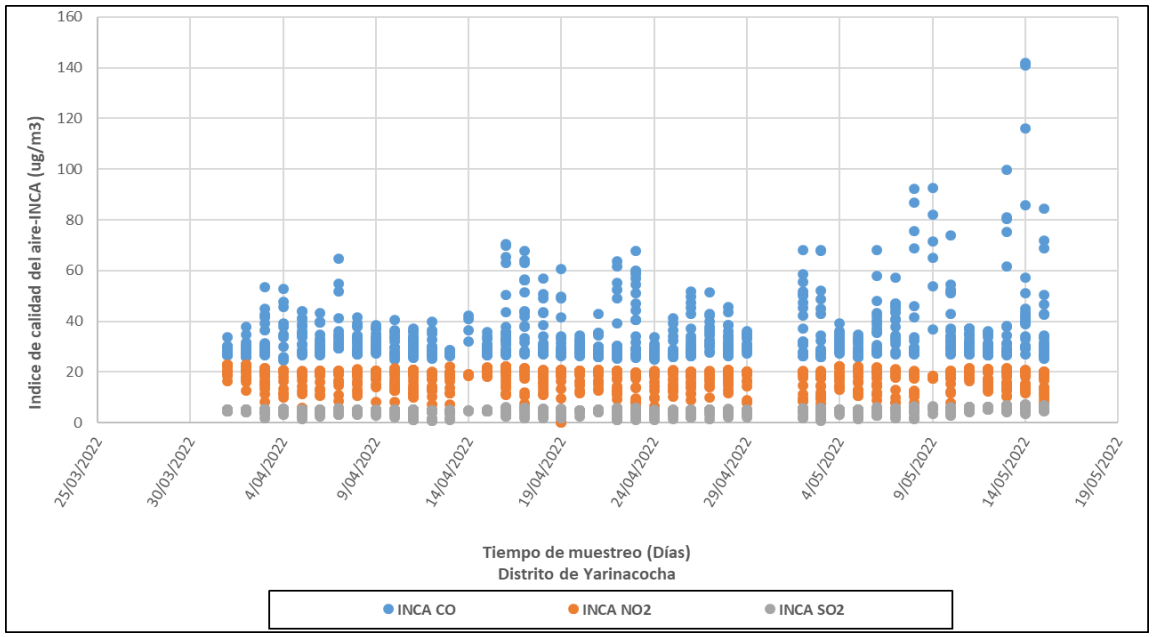
4.5. Variaciones del INCA en el distrito Yarinacocha

La figura 11, muestra la relación entre tiempo de muestreo (días) e índice de la calidad del aire (INCA) por monóxido de carbono-CO, Dióxido de nitrógeno-NO_2 y Dióxido de Azufre-SO_2 de los lugares muestreados en Yarinacocha. En la figura se observa que, los puntos observados están distribuidos a cada lado con cierta tendencia a la recta, lo que refleja una variación del INCA de CO, NO_2 y SO_2 respecto a la variable tiempo.

Asimismo, observamos que solo algunos valores del INCA CO, superan los 50 µg/m^3, en el lapso del 15 de abril al 15 de mayo se llegó a tener una calidad del aire "Moderada**",** que si bien es cierto la calidad del aire es aceptable, pero existen riesgos en la salud de la población sensible (Niños, madres gestantes, adultos de la tercera edad y personas con enfermedades respiratorias y vasculares).

Figura 11

Comportamiento del INCA de CO, NO_2 y SO_2 en Yarinacocha

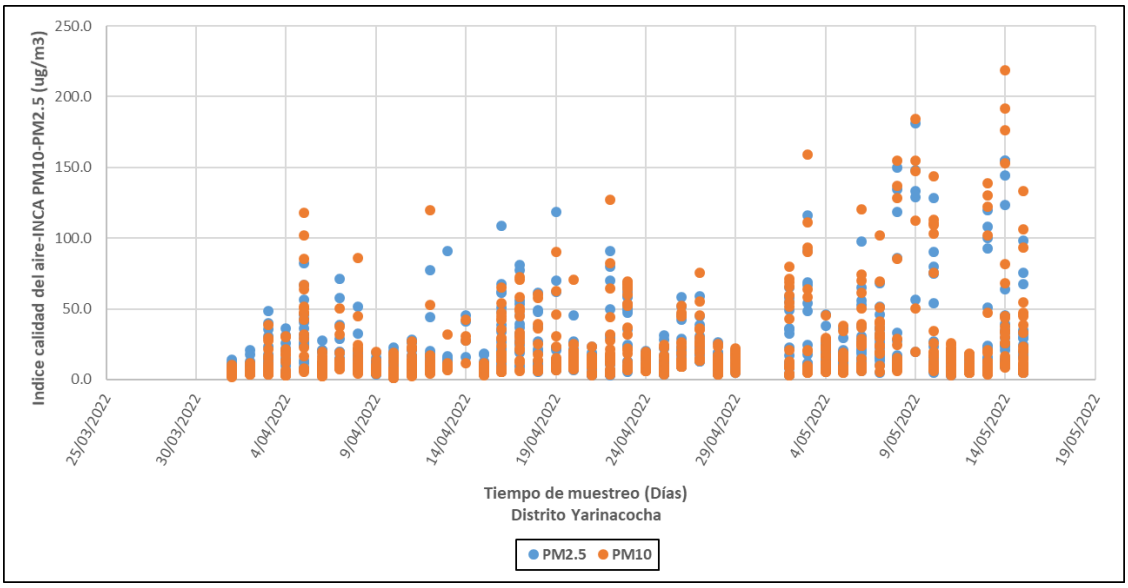


En la figura 12, se muestra los valores del índice de la calidad del aire (INCA) por material particulado-PM_{10} y $PM_{2.5}$, respecto al tiempo de muestreo de los lugares medidos en Yarinacocha. Asimismo, se observan que los puntos medidos están distribuidos a cada lado, los mismos que se agrupan de manera más acentuada del día 4 al 14 de mayo, en donde adquieren mayores valores, esta variación del INCA PM_{10} o $PM_{2.5}$ podría ser atribuida al tiempo de medición.

Por otro lado, apreciamos que, los valores del INCA PM10 y PM2.5, superan los 50 $\mu g/m^3$ y 100 $\mu g/m^3$, y se acentúa en la primera quincena de mayo, lo que nos quiere decir que, en ese lapso se llegó a tener una calidad del aire de “Moderada” a “Mala”, con lo cual realizar actividades al aire libre podría tener restricciones y riesgos para la salud de la población sensible, a pesar de que la calidad del aire puede ser considerada en algún momento como “aceptable”.

Figura 12

Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$) en Yarinacocha

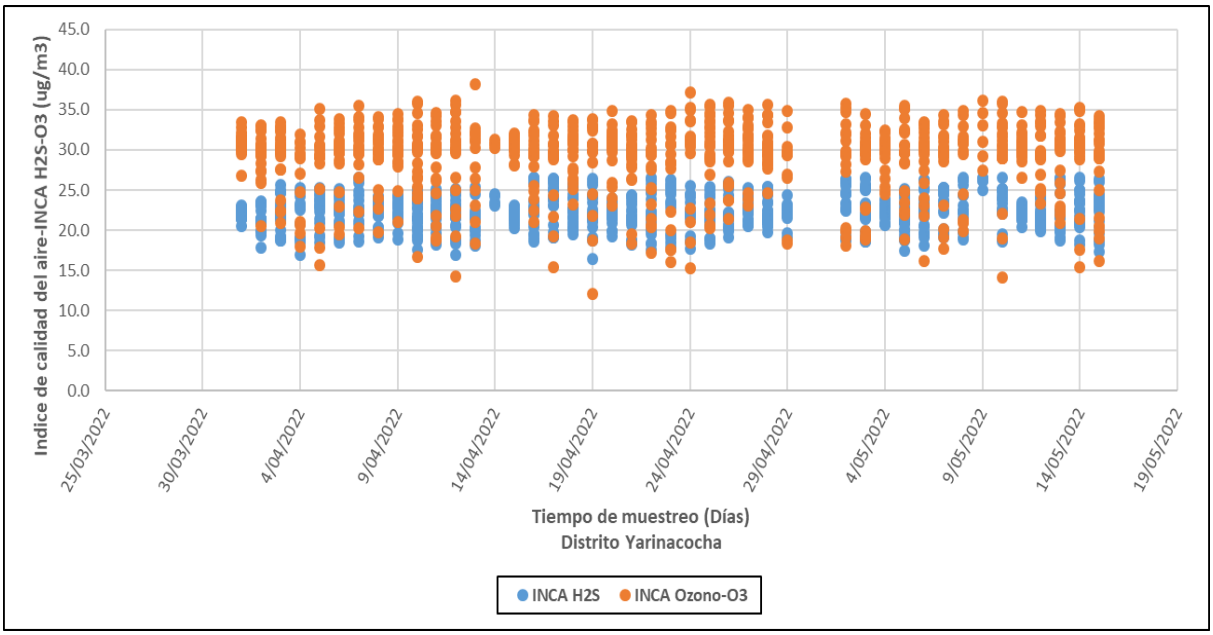


La figura 13, se muestran los datos del índice de la calidad del aire (INCA) por sulfuro de hidrógeno-H_2S y Ozono-O_3 según tiempo de muestreo en el distrito Yarinacocha. Asimismo, se observa que los valores medidos del INCA de H_2S y O_3 se agrupan cada cierto tiempo y luego varían para presentar una tendencia al promedio y éstos a su vez podrían depender del tiempo de muestreo.

Por otro lado, se observa que los valores del INCA H_2S y O_3, no superan los 50 µg/m^3, concluyendo que la calidad del aire es "Buena**",** con lo cual cumple con el ECA-Aire y no existe riesgo en la salud de la población sensible al realizar actividades al aire libre.

Figura 13

Regresión lineal entre tiempo de muestreo (días) versus índice de calidad del aire de H_2S y O_3 en Yarinacocha



4.6. Variaciones del INCA en el distrito Callería

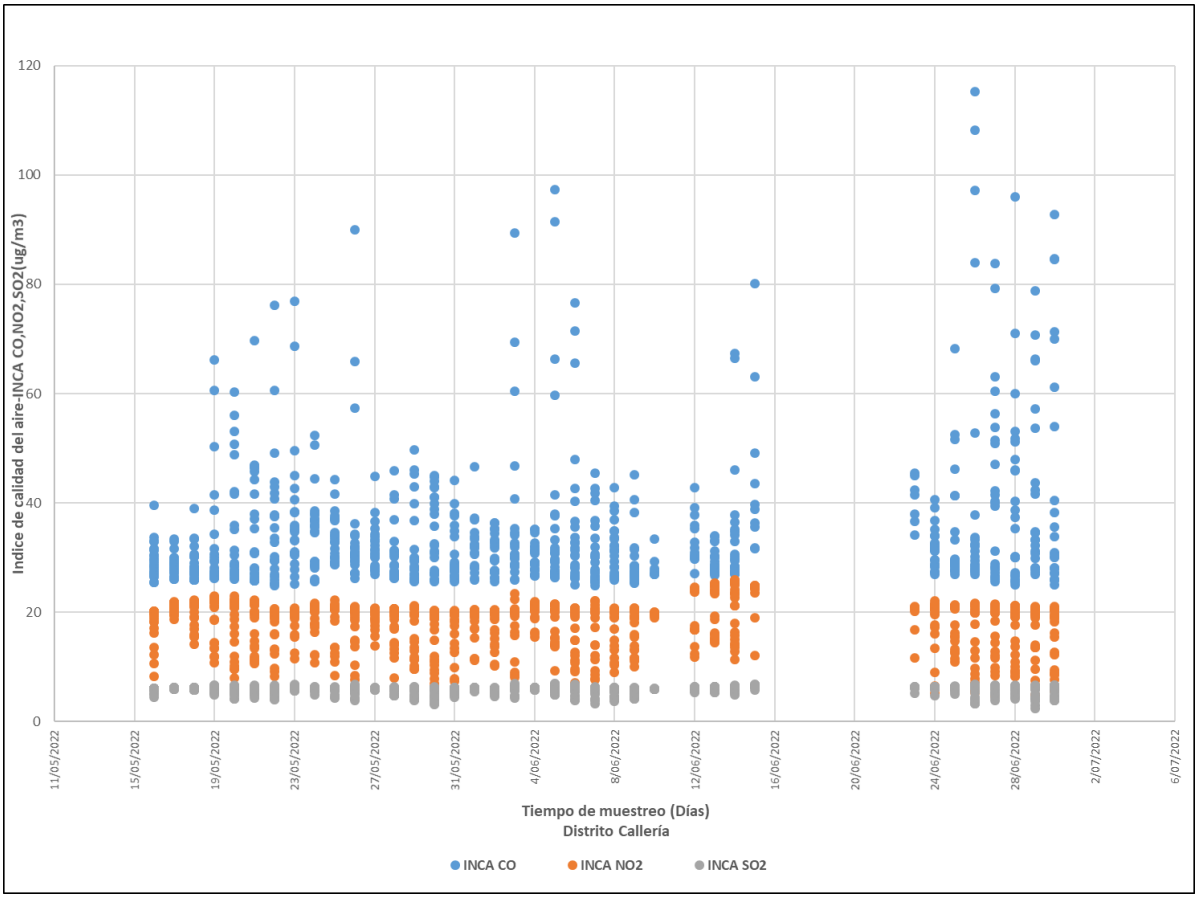
La figura 14, muestra los valores del índice de calidad del aire (INCA) por monóxido de carbono-CO, Dióxido de nitrógeno-NO_2 y Dióxido de Azufre-SO_2 en función al tiempo de muestreo del distrito de Callería. Según los datos que se observan, la variación en orden de importancia corresponde en primer lugar a CO, luego a NO_2 y por último a SO_2 y están distribuidos con cierta tendencia a la recta, es decir que los valores de INCA pueden depender del tiempo de medición.

Observamos que valores del INCA CO a lo largo del tiempo de medición se ubican entre 60 y 120 µg/m^3, superando la calificación “Buena” (hasta 50 µg/m^3), dando entender que los lugares medidos tuvieron en este tiempo una calidad del aire de “Moderada**”** a “Mala”; si bien es cierto la calidad del aire puede ser aceptable, pero existen riesgos en la salud de la población sensible si se realiza actividades al aire libre. Estos valores del INCA por CO se acentúan en la última semana de junio, posiblemente influenciada por la fiesta

de San Juan, donde la población emplea cocinas a leña para la elaboración de “Juanes” y esto a su vez, genera el incremento de la concentración de monóxido de carbono. Este escenario coincide con el estudio de (Reátegui Ramos, y otros, 2021), donde concluye que el índice de la calidad del aire durante la festividad del San Juan en la ciudad de Pucallpa adoptó la clasificación de “Moderada” (66.6 µg/m^3).

Figura 14

Regresión lineal entre tiempo de muestreo (días) versus índice de calidad del aire de CO, NO_2 y SO_2 en Callería



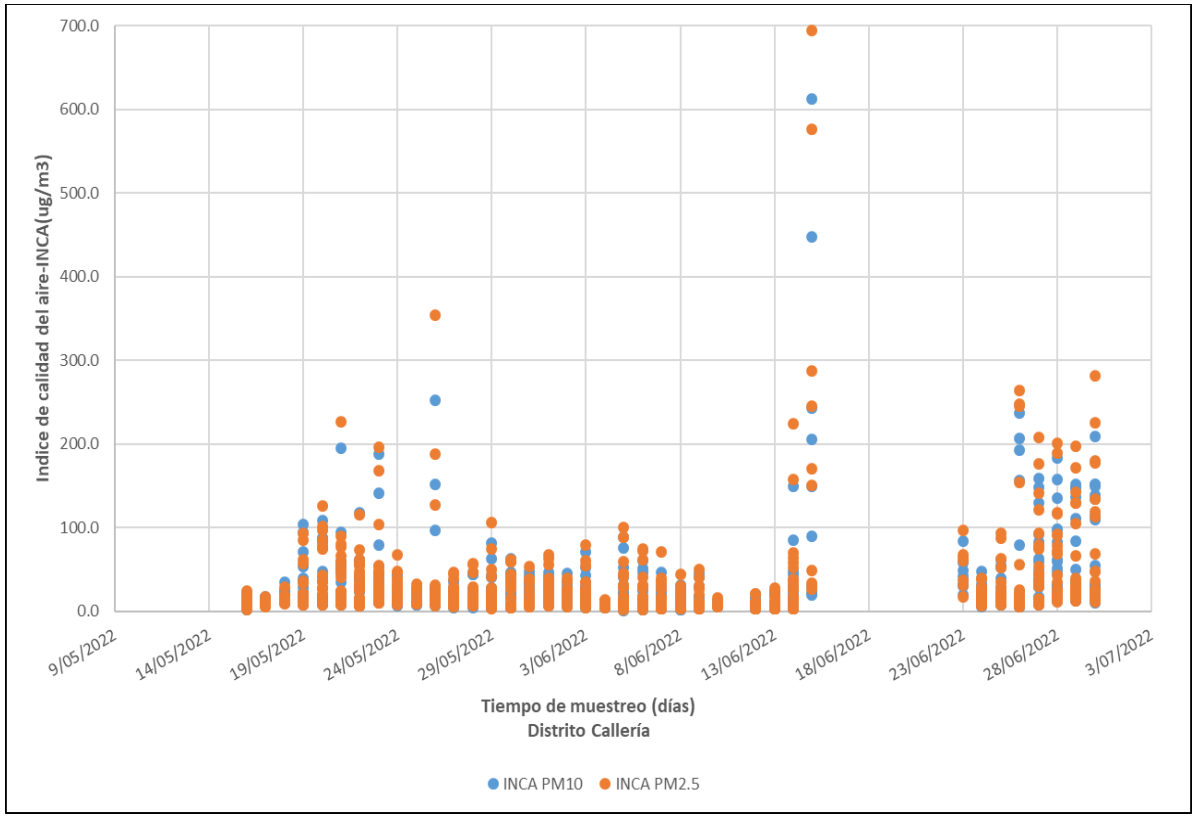
En la figura 15, se puede observar el índice de la calidad del aire (INCA) por material particulado-PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los lugares muestreados en Callería. Los puntos observados están distribuidos con cierta tendencia a la recta, es decir, que la variación de los valores

del INCA PM_{10} e INCA $PM_{2.5}$ de los puntos de muestreo de Callería, podrían depender del tiempo.

Por otro lado, observamos también que, valores del INCA PM_{10} y $PM_{2.5}$, superan los 50 $\mu g/m^3$ y llegan a casi los 700; acentuándose en la última semana de junio. Los valores INCA de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se ubican en su mayoría en los niveles de calidad de aire “Moderada”, “Mala” y “Umbral de cuidado”, teniendo en cuenta estos resultados y lo establecido por MINAM (2016) podemos manifestar que los efectos a la salud en la población sensible del distrito Callería se encuentran en alto riesgo.

Figura 15

Comportamiento del índice de calidad del aire de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$) en Callería

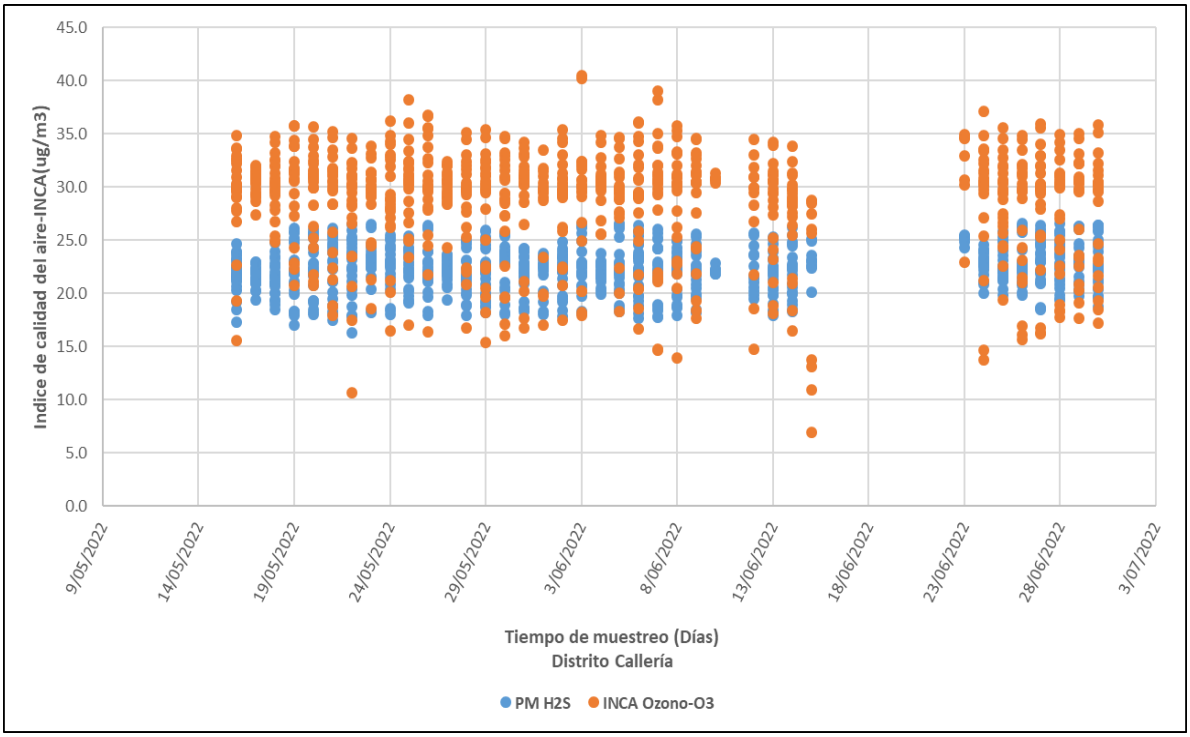


La figura 16, muestra el índice de la calidad del aire (INCA) por sulfuro de hidrógeno-H_2S y Ozono-O_3 de los lugares muestreados en el distrito de Callería. Asimismo, los puntos observados están distribuidos de manera que existe tendencia a la recta, es decir, que la variación de los valores del INCA H_2S y O_3 podrían depender del tiempo de muestreo.

Apreciamos que, los valores del INCA H_2S y O_3, no superan los 50 µg/m^3, concluyendo que la calidad del aire es "Buena**",** con lo cual cumple con el ECA-Aire, se puede realizar actividades al aire libre y no existe riesgo en la salud de los niños, tercera edad, madres gestantes y personas con enfermedades cardiovasculares y respiratorias crónicas.

Figura 16

Comportamiento del índice de calidad del aire de H_2S y O_3 en Callería



4.7. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de monóxido de carbono-CO por distrito.

El análisis de varianza de la regresión ha sido aplicado a los índices de calidad del aire, que de la evaluación resultaron más importantes, como son: monóxido de carbono (CO) y material particulado menores a 10 micras (PM_{10}) y menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$).

4.7.1. Análisis de varianza - INCA CO en el distrito de Campo Verde.

La tabla 19 nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde resalta el coeficiente de determinación (R^2=0.71) que nos indica que el tiempo (hora) está altamente relacionado con el índice de calidad del aire por CO (µg/m^3). Es decir, que el tiempo de muestreo, expresado en horas, explica en un 71% la variancia del índice de calidad del aire. Por otro lado, hay que aclarar que los niveles de concentración por CO difieren de un distrito a otro, que podría estar influenciado a dos principales factores, tránsito vehicular, que son las fuentes de contaminación móviles e industrias presentes en la zona de evaluación. Sin embargo, estas características son menos influyentes en Campo Verde, donde existe menor cantidad de vehículos e industrias, que, en distritos como Callería y Yarinacocha, que su incidencia es más determinante sobre la calidad del aire.

Tabla 19

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Campo Verde.

Estadísticas de la regresión	*Valor*
Coeficiente de correlación múltiple	0.84058533
Coeficiente de determinación R^2	0.70658369
R^2 ajustado	0.70506624
Error típico	16.8181433
Observaciones	660

En la tabla 20, y en función de los resultados del análisis de varianza de la regresión, se puede observar que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=1.6469 E-177), el cual nos confirma acerca de la correlación que existe entre el tiempo (hora) y el índice de

calidad del aire-INCA para monóxido de carbono-CO (µg/m^3). A partir de esto, podríamos concluir que el INCA de CO varía según la hora de muestreo.

Tabla 20

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	448870.297	448870.297	1586.95559	1.6469E-177
Residuos	659	186398.112	282.849943		
Total	660	635268.41			

4.7.2. Análisis de varianza por INCA CO en el distrito de Yarinacocha

La tabla 21, nos muestra las estadísticas de la regresión, resaltando que el coeficiente de determinación (R^2=0.72) nos indica la alta relación que existe entre tiempo (hora) e INCA por CO (µg/m^3) en Yarinacocha. Sin embargo, hay que aclarar que los niveles de concentración por CO difieren de un distrito a otro, que podría estar atribuible al tránsito vehicular y a las actividades comerciales que realiza la población por el sector urbano.

Tabla 21

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Yarinacocha.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.85271335
Coeficiente de determinación R^2	0.727120057
R^2 ajustado	0.726018736
Error típico	18.80897574
Observaciones	909

En la tabla 22, se observa que los resultados del análisis de varianza de la regresión demuestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=3.5259E-258), el cual confirma acerca de la alta correlación que existe entre el tiempo (hora) y el índice de calidad

del aire-INCA para monóxido de carbono-CO (µg/m^3). A partir de esto, podríamos concluir que el INCA de CO varía según la hora de muestreo.

Tabla 22

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	855954.443	855954.4425	2419.47065	3.5259E-258
Residuos	908	321230.032	353.7775683		
Total	909	1177184.47			

4.7.3. Análisis de varianza por INCA CO en el distrito de Callería

La tabla 23, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde vemos que el coeficiente de determinación (R2=0.72), el cual nos indica la alta asociación positiva y directa que existe entre el tiempo (hora) e INCA por CO (µg/m^3) en Callería. Si bien es cierto que los niveles de concentración por CO pueden diferir de un distrito a otro, el INCA podría estar influenciado por el tránsito vehicular y las actividades comerciales que se realizan por el sector urbano de Pucallpa; que en definitiva es mayor que en cualquier otro distrito estudiado. Estos valores coinciden con los resultados encontrados por Gomez & Gonzalez (2020) en su estudio sobre "*Determinación de la concentración de monóxido de carbono (CO) del parque automotor de las ciudades de Pucallpa y Aguaytía".*

Asimismo, similares resultados fueron encontrados por Benites & García (2020) en su estudio sobre *"Evaluación de la calidad de aire por CO y H2S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del "Sector Cercado" de Lima";* asimismo, coincide en resultados realizado en Pucallpa por Tuesta (2015) y denominado *"Monitoreo de la calidad ambiental de la ciudad de Pucallpa".*

Tabla 23

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de monóxido de carbono (CO) en Callería

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.848238677
Coeficiente de determinación R^2	0.719508853
R^2 ajustado	0.718324018
Error típico	19.27917299
Observaciones	845

En la tabla 24, se observa que, en mérito a los resultados del análisis de varianza de la regresión, el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=4.486E-235), el cual confirma acerca de la alta correlación existente entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para monóxido de carbono-CO (µg/m^3). A partir de esto, podríamos concluir que el INCA de CO del sector urbano de Pucallpa, varía según la hora de muestreo.

Tabla 24

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	804704.1292	804704.1292	2165.00762	4.486E-235
Residuos	844	313703.4154	371.6865112		
Total	845	1118407.545			

4.8. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de material particulado (PM10) por distrito.

4.8.1. Análisis de varianza por PM10 en el distrito de Campo Verde

La tabla 25, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde vemos que el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0.50, el cual nos indica una correlación moderada que existe entre el tiempo (hora) e INCA por PM_{10} (µg/m^3) en Campo. Si bien es cierto que los niveles de concentración por material particulado menores a 10 micras

difieren de un distrito a otro, se puede concluir que las actividades comerciales y el tránsito vehicular del sector urbano de Campo Verde, tiene escasa influencia sobre el INCA-PM_{10}.

Tabla 25

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Campo Verde

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.709243848
Coeficiente de determinación R^2	0.503026836
R^2 ajustado	0.501509386
Error típico	12.04374232
Observaciones	660

En la tabla 26, se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=4.2209E-102); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} (µg/m^3) es moderada. A partir de esto, podríamos concluir que el INCA de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Campo Verde, no depende de la hora de muestreo.

Tabla 26

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	96753.46835	96753.46835	667.027336	4.2209E-102
Residuos	659	95589.08941	145.051729		
Total	660	192342.5578			

4.8.2. Análisis de varianza por PM_{10} en el distrito de Yarinacocha

La tabla 27, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde vemos que el coeficiente de determinación (R_2) es igual a 0.42, el cual nos indica una correlación moderada que existe entre el tiempo (hora) e INCA por PM10 (µg/m^3) en Yarinacocha. Si

bien es cierto que los niveles de concentración por material particulado menores a 10 micras difieren de un distrito a otro, se puede concluir que tanto el tránsito vehicular y las actividades comerciales que realiza la población tiene escasa influencia sobre el INCA-PM_{10}.

Tabla 27

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Yarinacocha

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.648189072
Coeficiente de determinación R^2	0.420149073
R^2 ajustado	0.419047751
Error típico	23.19307597
Observaciones	909

En la tabla 28, se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=4.2209E-102); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} ($\mu g/m^3$) es moderada. A partir de esto, podríamos concluir que el INCA de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Yarinacocha, no depende de la hora de muestreo.

Tabla 28

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	353907.367	353907.3675	657.9197179	1.525E-109
Residuos	908	488430.246	537.9187731		
Total	909	842337.613			

4.8.3. Análisis de varianza por PM_{10} en el distrito de Callería

La tabla 29, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde observamos que el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0.28, el cual nos indica una correlación baja

entre el tiempo (hora) e INCA por PM_{10} ($\mu g/m^3$) en Callería. En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que tanto el tránsito vehicular y las actividades comerciales que realiza la población del sector urbano de Pucallpa no tiene influencia sobre los valores del INCA-PM_{10}. Aparentemente, esta asociación no existe porque, las vías pavimentadas del centro urbano disminuyen en gran medida la generación de material particulado.

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Espinoza & Barrientos (2021), denominado *"Evaluación de la Calidad del Aire por la emisión de Material Particulado en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan–Huancavelica, 2021"*

Tabla 29

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Callería

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.534837007
Coeficiente de determinación R^2	0.286050624
R^2 ajustado	0.28486579
Error típico	41.66373642
Observaciones	845

En la tabla 30, se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=4.2209E-102); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} ($\mu g/m^3$) es baja. De este modo, podríamos concluir que los índices de calidad del aire de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Callería, no dependen de la hora de muestreo.

Tabla 30

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	586994.9417	586994.9417	338.156647	9.28822E-64
Residuos	844	1465071.691	1735.866933		
Total	845	2052066.633			

4.9. Análisis de varianza de la regresión entre tiempo de muestreo e INCA de material particulado ($PM_{2.5}$) por distrito.

4.9.1. Análisis de varianza por $PM_{2.5}$ en el distrito de Campo Verde

La tabla 31, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde observamos que el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0.45, el cual nos indica una correlación baja entre el tiempo (hora) e INCA por PM_{10} ($\mu g/m^3$) en Campo Verde. En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que el tiempo de muestreo no tiene influencia sobre los valores del INCA-PM_{10} en el distrito de Campo Verde.

Tabla 31

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Campo Verde

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.673654494
Coeficiente de determinación R^2	0.453810377
R^2 ajustado	0.452292927
Error típico	10.6595066
Observaciones	660

En la tabla 32 se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=1.415E-88); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} ($\mu g/m^3$) es baja. Los índices de calidad del aire de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Callería, no dependen de la hora de muestreo.

Tabla 32

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	62214.3543	62214.3543	547.540682	1.415E-88
Residuos	659	74878.9283	113.625081		
Total	660	137093.283			

4.9.2. Análisis de varianza por $PM_{2.5}$ en el distrito de Yarinacocha

La tabla 33, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde observamos que el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0.39, el cual nos indica una correlación baja entre el tiempo (hora) e INCA por PM_{10} ($\mu g/m^3$) en Yarinacocha. En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que el tiempo de muestreo no tiene influencia sobre los valores del INCA-PM_{10} en el distrito de Yarinacocha.

Tabla 33

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Yarinacocha

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.62400602
Coeficiente de determinación R^2	0.38938351
R^2 ajustado	0.38828219
Error típico	26.4560715
Observaciones	909

En la tabla 34 se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=2.446E-99); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} ($\mu g/m^3$) es baja. De este modo, podríamos concluir que los índices de calidad del aire de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Yarinacocha, no dependen de la hora de muestreo.

Tabla 34

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	405271.062	405271.062	579.021757	2.446E-99
Residuos	908	635530.737	699.923719		
Total	909	1040801.8			

4.9.3. Análisis de varianza por $PM_{2.5}$ en el distrito de Callería

La tabla 35, nos muestra las estadísticas de la regresión, en donde observamos que el coeficiente de determinación (R_2) es igual a 0.39, el cual nos indica una correlación baja entre el tiempo (hora) e INCA por PM_{10} (µg/m^3) en Callería. En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que el tiempo de muestreo no tiene influencia sobre los valores del INCA-PM_{10} en el distrito de Callería.

Tabla 35

Coeficiente de determinación de la regresión tiempo e INCA de material particulado-PM_{10} en Callería.

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.51906505
Coeficiente de determinación R^2	0.26942853
R^2 ajustado	0.26824369
Error típico	49.7477238
Observaciones	845

En la tabla 36, se observa que, si bien es cierto los resultados del análisis de varianza de la regresión, muestran que el valor crítico de F es menor a 0.05 (F crítico=1.5756E-59); sin embargo, la asociación entre el tiempo (hora) y el índice de calidad del aire-INCA para material particulado-PM_{10} (µg/m^3) es baja. De este modo, podríamos concluir que los índices de calidad del aire de material particulado-PM_{10} del sector urbano de Callería, no dependen de la hora de muestreo.

Tabla 36

Análisis de varianza (ANVA) de la regresión

ANVA	*Grados de libertad*	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	1	770317.464	770317.464	311.260001	1.5756E-59
Residuos	844	2088761.61	2474.83603		
Total	845	2859079.07			

CONCLUSIONES

- En los tres distritos estudiados, el índice de calidad del aire (INCA) por tipo de contaminante (Monóxido de carbono-CO, dióxido de nitrógeno-NO_2 y dióxido de azufre-SO_2), se califica como “Buena”. Lo mismo ocurre con contaminantes como ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S), en donde el INCA se califica como “Buena” o “aceptable”. En Yarinacocha y Campo Verde, el contaminante de PM_{10}, se califica como “Buena”, a diferencia del distrito de Callería, donde la calificación por PM_{10} es “moderada”.
- Los índices de calidad del aire (INCA) para monóxido de carbono (CO) encontrados en los distritos de Campo Verde, Yarinacocha y Callería presentan valores de 30.41 µg/m^3, 33.52 µg/m^3 y 34.88 µg/m^3 respectivamente. Mientras que los INCA promedios para NO_2 son 17.76 µg/m^3, 17.38 µg/m^3 y 17.91 µg/m^3. Así mismo, los valores promedios de INCA por SO_2 son de 4.93 µg/m^3, 4.65 µg/m^3 y 5.89 µg/m^3. En consecuencia, se concluye que la calidad del aire en los distritos estudiados para CO, NO_2 y SO_2 es “Buena” o “aceptable”, por ello, las personas están en condiciones de realizar actividades al aire libre porque no representa riesgo para la salud de la población sensible o vulnerable (personas de tercera edad, con enfermedades respiratorias o cardiovasculares, madres gestantes y niños).
- Los índices de calidad del aire (INCA) para material particulado (PM_{10}) en los distritos de Campo Verde y Yarinacocha tienen promedios de 34.05 µg/m^3 y 44.31 µg/m^3 respectivamente. Por tanto, la calidad del aire en los distritos estudiados es “Buena” o “aceptable”. Mientras que el INCA promedio para el distrito Callería es de 60.24 µg/m^3, concluyendo que la calidad del aire es “Moderada”, es decir, representa riesgo para la salud de la población. Los INCA para $PM_{2.5}$ en los distritos de Campo Verde, Yarinacocha y Callería tienen promedios de 21.24 µg/m^3, 29.51 µg/m^3 y 44.32 µg/m^3 respectivamente; concluyendo que la calidad del aire es “Buena” o “aceptable” y no representa riesgo en la salud de la población vulnerable.

- Los índices de calidad del aire (INCA) para sulfuro de hidrógeno (H_2S) en los distritos de Campo Verde, Yarinacocha y Callería tienen promedios cuyos valores son 22.04 µg/m^3 y 22.20 µg/m^3 y 22.34 µg/m^3 respectivamente, lo que significa que el INCA es “Buena” o “aceptable”. Por su lado, los INCA para Ozono (O_3) en Campo Verde, Yarinacocha y Callería, tienen promedios de 29.73 µg/m^3, 29.06 µg/m^3 y 28.66 µg/m^3 respectivamente; llegando a la conclusión que el INCA tiene la categoría de “Buena”, ya que no existe riesgo para la salud de las personas sensibles ya que pueden realizar actividades al aire libre sin restricciones.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de mejorar la precisión de la investigación, se recomienda aumentar el número de puntos de muestreo por distrito.
- Se deben realizar estudios donde se relacione los índices de calidad del aire con los parámetros meteorológicos: temperatura, precipitación, velocidad de los vientos y humedad relativa.
- Se recomienda realizar estudios que relacionen los índices de calidad del aire y la salud de niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares.
- Las municipalidades de Callería, Yarinacocha y Campo Verde podrían implementar una red de monitoreo de la calidad del aire poniendo especial atención a áreas industriales y de alto tráfico.
- Los gobiernos locales deberían promover el desarrollo urbano sostenible, con énfasis en la densificación urbana, la creación de espacios verdes y la reducción del consumo de energía e implementar zonas de bajas emisiones en el centro de las ciudades para restringir el acceso de vehículos contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo Suarez, L. F. (2021). *Influencia de la calidad del aire en la mortalidad y la morbilidad por enfermedades respiratorias en Colombia.* Trabajo de grado , Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33256/2021LuisAcevedos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Cambio Climático y BID: Construyendo Resiliencia y Reduciendo Emisiones. Estudio Sectorial: Transporte.* Obtenido de http://dx.doi.org/10.18235/0010597

Benites Vela, E. R., & García Arce, S. A. (2020). *"Evaluación de la calidad de aire por CO y H2S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del "Sector Cercado".* Tesis de grado , Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3372?show=full

Bernal , C. Á. (2010). *Métodología de la investigación.* Bogotá: Pearson-Prenticel Hall.

Calderón, A. E. (2019). *"DETERMINACIÓN DEL SULFURO DE HIDRÓGENO Y VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL AA. HH. EL MILAGRO DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA".* Lima.

Canales Manchuria , A. (2022). *Análisis comparativo de la concentración de monóxido de carbono en el distrito de Mariano Melgar para elaborar la propuesta de reordenamiento vehicular.* Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/162158a9-3302-437c-89f9-20b9a96f0a7f

Concepción Gamarra, E., & Rodríguez Jiménez, M. (2014). *Informe Nacional de la Calidad del Aire.* Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf

Córdova Peña, J. M. (2019). *Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycan.* UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1674/Jhon_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Cuba Salerno, A., Sabogal Dunin Borkowski de Alegría, A. B., Ávila Molero, J., León Shedan, F., Narvaez Calderón, E., & Cuadra , L. (2012). *Informe Nacional del Estado del Ambiente 2009-2011.* Obtenido de file:///F:/01.TESIS%20ABARCA/INFORMACI%C3%93N%20BIBLIOGRAFICA/3230.pdf

Cuesta Mosquera, A. P., González Duque, C. M., Velasco García, M., & Aristizábal, B. H. (2018). Distribución espacial de concentraciones de SO2, NOx Y O3 en el aire. *Revista internacional de contaminación ambiental, 34*(3), 489-504. doi:https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.11

Delgado Altamirano, P. A. (2016). *Evaluación de la Calidad del Aire Referente a Emisiones de Gases de Combustión: Monóxido de Carbono (CO) Dióxido de*

Azufre (SO2) y Dióxido de Nitrógeno (NO2) Generados por los Vehículos que Transitan en el Sector de Durán. Tesis de maestria , Guayaquil. Obtenido de https://biblioteca.semisud.org/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=289444

EPA. (04 de junio de 2021). *Agencia de protección ambiental de Estados Unidos* . Obtenido de https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles

Espinoza Ancalle, L. Y., & Barrientos Paytan, A. S. (2021). *"Evaluación De La Calidad Del Aire Por La Emisión De Material Particulado en la construcción de pistas Y veredas del jirón Odonovan–Huancavelica, 2021".* UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA, Huancavelica. Obtenido de https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/4172/TESIS-2021-ING.%20AMBIENTAL-BARRIENTOS%20PAYTAN%20Y%20ESPINOZA%20ANCALLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gomez Castañeda , A. S., & Gonzalez Yjuma , H. M. (2020). *Determinación de la concentración de monóxido de carbono (CO) del parque automotor de las ciudades de Pucallpa Y Aguaytía.* Tesis de grado , Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4274

GOREU. (2005). *Estudio De La Calidad De Aire En La Ciudad De Pucallpa.* Ucayali.

Lay Luna , M. M., & Rios Rodriguez, P. J. (2021). *Evaluación de los niveles de monóxido de carbono (Co) y sulfuro de hidrógeno (H2S) en el centro urbano de la provincia de Coronel Portillo - región Ucayali.* Universidad Nacional de Ucayali , Pucallpa. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5089?show=full

Li, J., Pérez, A., Duque, N., & Aristlzábal, B. (2016). *"Generación y representación de Indicadores de calidad de aire: caso de estudio aplicado a Manizales".* Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

Manrique, J. (2017). *La contaminación atmosférica y la gestión de la calidad del aire en la ciudad de Huaraz, 2014.* Tesis para optar el grado de Doctor , Universidad Nacional “Santiago Antunez De Mayolo”. Obtenido de http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1893

Marin Linares, M. V. (2019). *Relación entre la contaminación del aire y la salud de los pobladores del sector nueva esperanza, en el distrito de Villa María del Triunfo, mes de agosto 2018.* Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3952

Mayorga Amaya, A. N. (2019). *Evaluación de la concentración y dispersión de Material Particulado (PM10) en el barrio el Dorado de la comuna San Humberto del municipio de Soacha.* Trabajo de grado, UNIVERSIDAD LIBRE. Obtenido de https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19179

MedlinePlus. (18 de marzo de 2021). *MEDLINEPLUS*. Obtenido de https://medlineplus.gov/spanish/carbonmonoxidepoisoning.html

Muñoz Arditto, M. (2010). *Evaluación de la calidad del aire, particulas en suspención PM10, en la Av. Conquistadores-San Isidro: estado actual y alternativas de solución .* Lima.

Núñez Caraballo, V., Rodríguez Rojas, R., Gómez Camacho, L., Herrera Moya, I., & Morales Pérez, M. C. (2019). Emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera por fuentes fijas del MINAG y su influencia en la calidad del aire en la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola, 46*(3), 86-95. Obtenido de http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n3/0253-5785-cag-46-03-86.pdf

OMS. (2005). *Emisiones de material particulado (PM10) y sus efectos sobre la salud.*

OMS. (2013). *Investigaciones para una cobertura sanitaria universal.* Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85763/9789240691223_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quintero, Y., Camargo, M., Puente, J. B., & Parra, A. Q. (2004). *Metodo fotometrico para la determinación de la concentración de ozono atmosferico.* Pamplona: Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias.

Reátegui Ramos, P. K., Esteban Robladillo, I., Parí Quispe, D., Zeña Rubio, J. P., Caruzo Sangama, P., & Bernal Apaestegui, S. (2021). Niveles de Monóxido de Carbono causado por la festividad de “San Juan” en la ciudad de Pucallpa 2021. *Revista de Investigación Universitaria, 11*(2), 615-629. Obtenido de http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/67/102

Rodríguez Calampa, N. Y. (22 de Marzo de 2017). "Determinación de la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM10) en vias urbanas de la ciudad de Tarapoto, Perú.". *INDES*.

Rodríguez, M., & Mendivelso, F. (2018). *Tópicos en investigación clínica DISEÑO DE INVESTIGACIÓNDE CORTE TRANSVERSAL.* Bogotá: Revista Médica Sanitas.

Serio, L., Puccetti, C., & Oderigo, J. (2020). Revisión de los monitoreos de calidad del aire en la ciudad de Buenos Aires. *agronomia y ambiente, 40*(1), 50-62. Obtenido de http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/128/107

SoCalGas. (s.f.). *Southern California Gas Company*. Obtenido de https://www.socalgas.com/es/stay-safe/emergency-information/carbon-monoxide

Torres, A. E., & Vallejos, G. M. (2010). *Evaluación e interpretación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido [de] azufre en el aire de Lima Metropolitana.* Lima.

Tuesta Torrejon, T. (2015). Monitoreo y evaluación de la calidad ambiental del aire y ruido en principales ciudades de la región Ucayali. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4171

WHO. (2004). *World Report on Road Traffic Injury Preventión.* World Health Organization, Geneva. Obtenido de http://www.who.int/violence

ANEXOS

Anexo 1. Estadísticos de la concentración de 7 parámetros medidos (CO, NO_2, SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$, H_2S y O_3)

Tabla 37

Concentración e INCA de monóxido de carbono-CO

PUNTO DE MUESTREO	CO (ug/m^3)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	3143.13	31.43	2553.51	8193.69	693.33	22%
P2	2939.23	29.39	2540.10	4486.85	342.43	12%
P3	3073.85	30.74	2465.53	6456.01	527.65	17%
P4	3318.61	33.19	2501.06	7042.82	947.78	29%
P5	3663.76	36.64	2527.90	14188.84	1638.55	45%
P6	3294.19	32.94	2482.64	8999.58	876.38	27%
P7	3254.95	32.55	2493.00	9736.38	1003.12	31%
P8	3915.96	39.16	2496.78	11527.16	1692.00	43%

Tabla 38

Concentración e INCA de dióxido de nitrógeno-NO_2

PUNTO DE MUESTREO	NO_2 (ug/m^3)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	35.94	17.97	9.37	47.72	7.63	21%
P2	35.09	17.54	12.88	43.21	7.21	21%
P3	35.68	17.84	7.28	45.82	8.02	22%
P4	34.48	17.24	8.19	44.49	8.07	23%
P5	34.13	17.07	10.31	44.26	8.40	25%
P6	36.39	18.20	10.60	46.09	7.80	21%
P7	36.22	18.11	11.73	50.68	8.21	23%
P8	34.87	17.44	9.55	51.80	10.86	31%

Tabla 39

Concentración e INCA de dióxido de azufre-SO_2

PUNTO DE MUESTREO	SO_2 (ug/m^3)						
	PROMEDIO	INCA	OMS	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	13.07	5.23	65.35	2.50	16.47	1.86	14%
P2	11.59	4.63	57.93	1.65	14.95	2.50	22%
P3	11.14	4.46	55.71	1.58	14.70	2.34	21%
P4	11.15	4.46	55.74	2.40	15.17	2.59	23%
P5	12.59	5.04	62.95	1.93	17.95	2.80	22%
P6	14.73	5.89	73.65	7.98	16.97	1.47	10%
P7	14.65	5.86	73.25	8.14	17.35	1.51	10%
P8	14.82	5.93	74.11	6.15	17.17	2.08	14%

Tabla 40

Concentración e INCA de material particulado-PM_{10}

PUNTO DE MUESTREO	PM_{10}(ug/m^3)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	35.05	35.05	22.19	74.94	10.58	30%
P2	33.05	33.05	22.96	53.44	8.13	25%
P3	38.93	38.93	21.43	90.76	12.55	32%
P4	44.20	44.20	23.08	118.38	17.85	40%
P5	49.80	49.80	22.76	181.34	31.27	63%
P6	52.99	52.99	22.21	252.19	26.67	50%
P7	43.92	43.92	21.15	88.32	13.16	30%
P8	83.82	83.82	22.53	401.20	69.68	83%

Tabla 41

Concentración e INCA de material particulado-$PM_{2.5}$

PUNTO DE MUESTREO	$PM_{2.5}$ (ug/m³)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	11.07	22.13	10.92	24.98	4.62	42%
P2	10.17	20.34	10.90	44.25	4.24	42%
P3	11.04	22.07	15.63	59.92	7.47	68%
P4	14.25	28.50	16.62	63.46	8.74	61%
P5	18.99	37.97	16.43	109.25	18.91	100%
P6	17.47	34.95	21.15	177.29	16.07	92%
P7	12.90	25.79	20.63	50.02	8.26	64%
P8	36.11	72.22	21.61	247.13	41.80	116%

Tabla 42

Concentración e INCA de sulfuro de hidrógeno-H_2S

PUNTO DE MUESTREO	H_2S (ug/m³)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	33.30	22.20	26.43	39.81	2.43	7%
P2	32.84	21.89	25.55	38.18	2.60	8%
P3	32.96	21.98	25.41	39.74	2.69	8%
P4	33.34	22.23	24.64	39.87	3.10	9%
P5	33.58	22.39	25.97	39.88	3.24	10%
P6	33.17	22.12	24.41	39.71	3.13	9%
P7	33.09	22.06	26.53	39.87	3.10	9%
P8	34.28	22.85	27.46	39.85	3.03	9%

Tabla 43

Concentración e INCA de Ozono

PUNTO DE MUESTREO	O_3 (ug/m^3)					
	PROMEDIO	INCA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD	CV
P1	29.93	29.93	16.05	40.42	3.85	13%
P2	29.53	29.53	17.40	37.05	3.86	13%
P3	29.17	29.17	14.20	38.23	3.94	14%
P4	29.05	29.05	12.10	37.19	4.22	15%
P5	28.95	28.95	14.09	36.14	4.32	15%
P6	29.21	29.21	10.69	38.19	4.34	15%
P7	28.83	28.83	13.92	40.44	4.83	17%
P8	27.95	27.95	6.93	37.10	5.52	20%

Anexo 2. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el distrito Campo Verde

Figura 17

Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Campo Verde

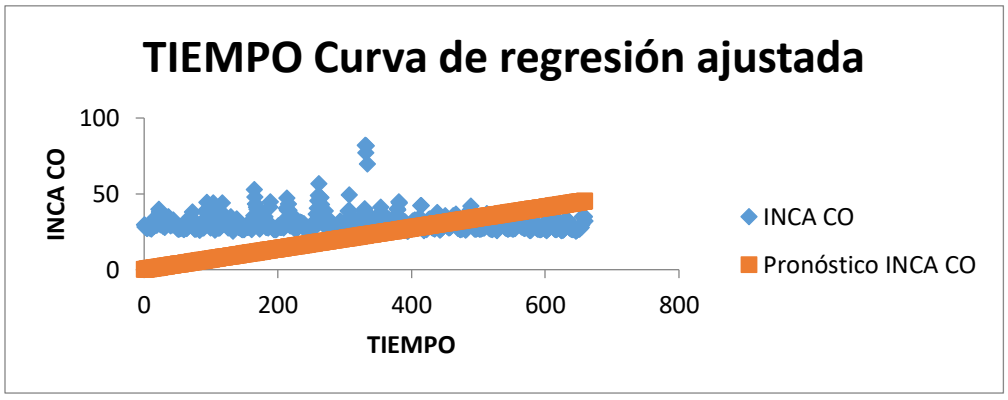


Figura 18

Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Campo Verde

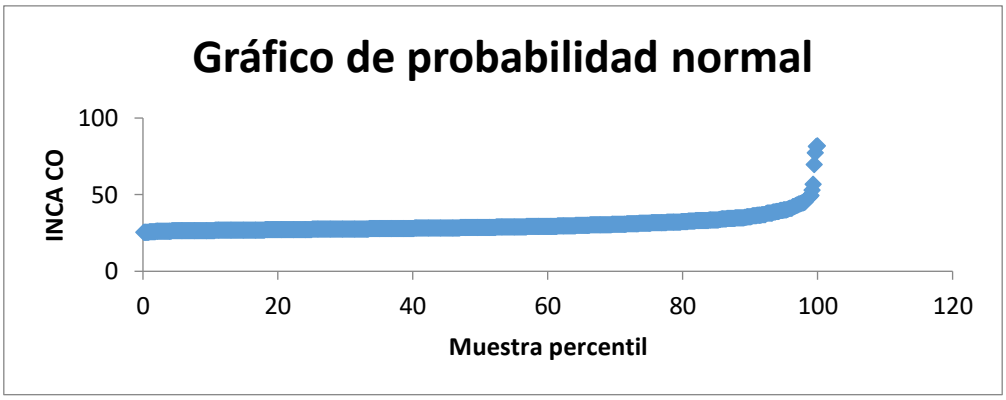


Figura 19

Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Campo Verde

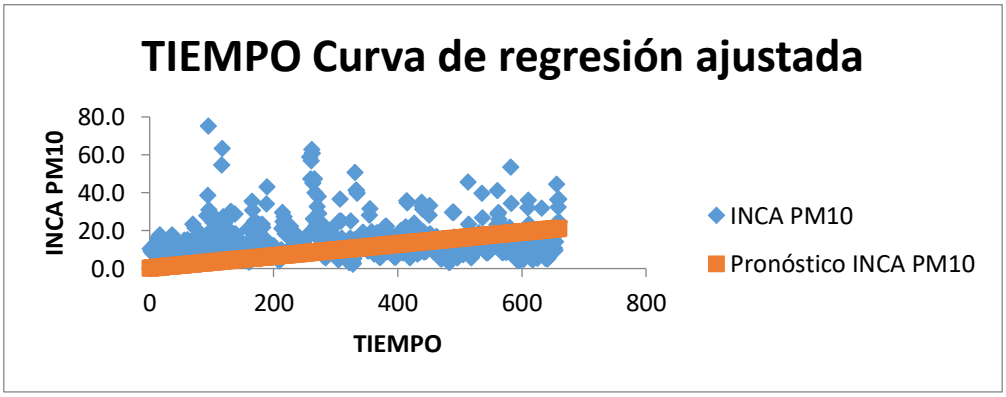


Figura 20

Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Campo Verde

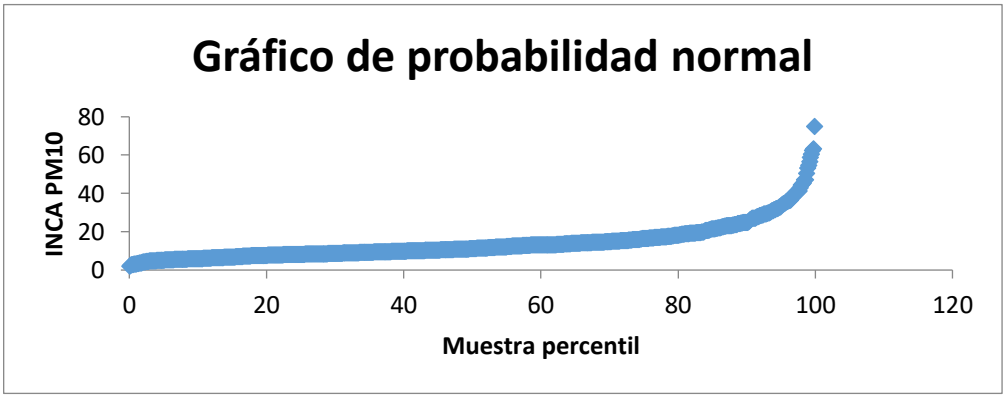


Figura 21

Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Campo Verde

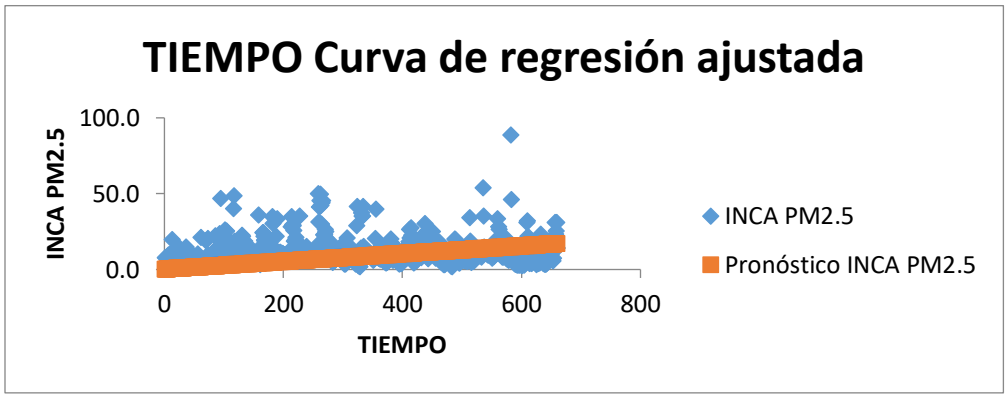
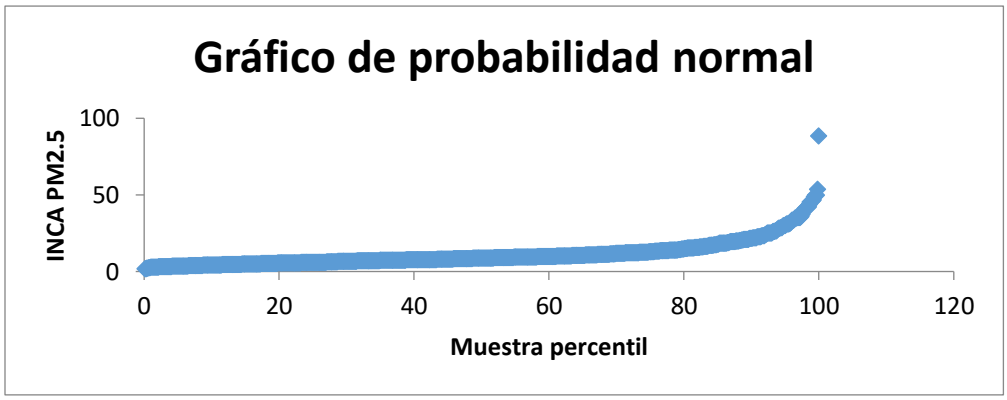


Figura 22

Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Campo Verde



Anexo 3. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM10 y PM2.5 en el distrito Yarinacocha

Figura 23

Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Yarinacocha

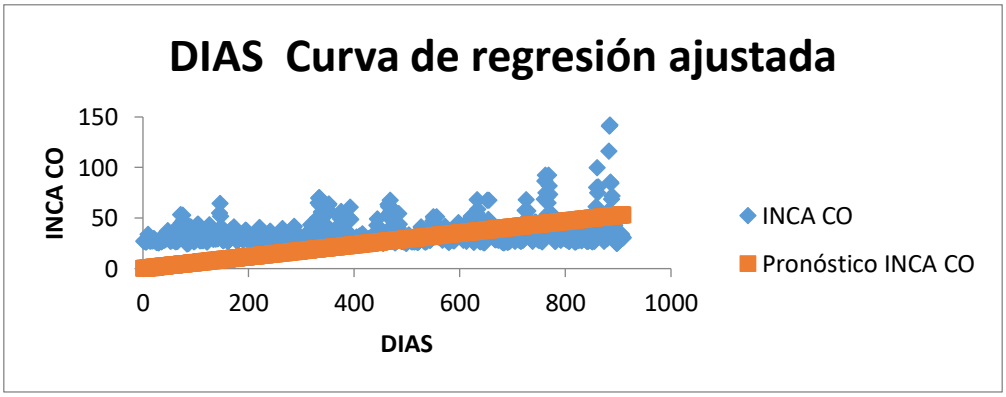


Figura 24

Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Yarinacocha

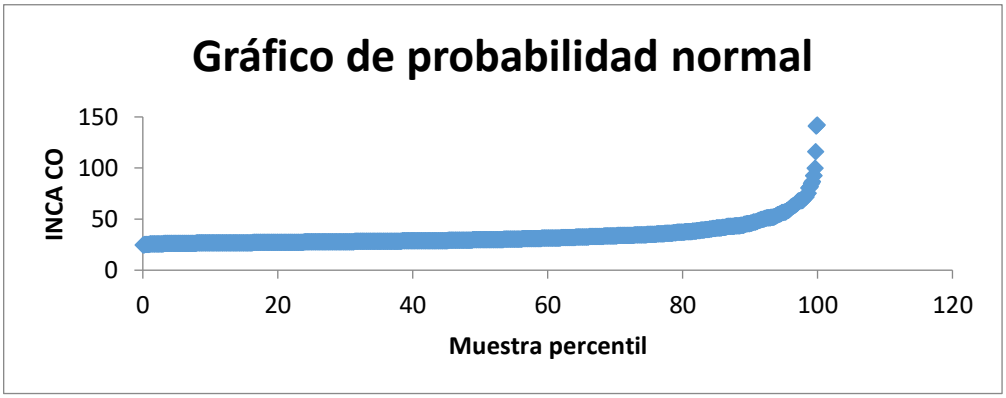


Figura 25

Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Yarinacocha

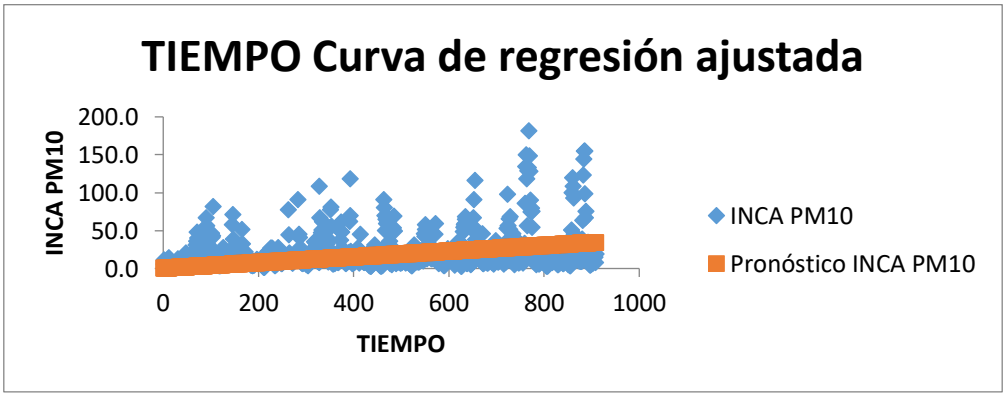


Figura 26

Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Yarinacocha

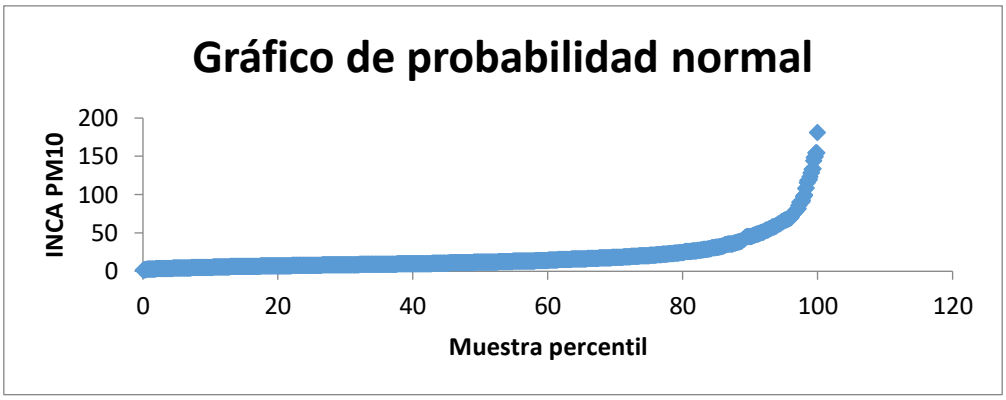


Figura 27

Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Yarinacocha

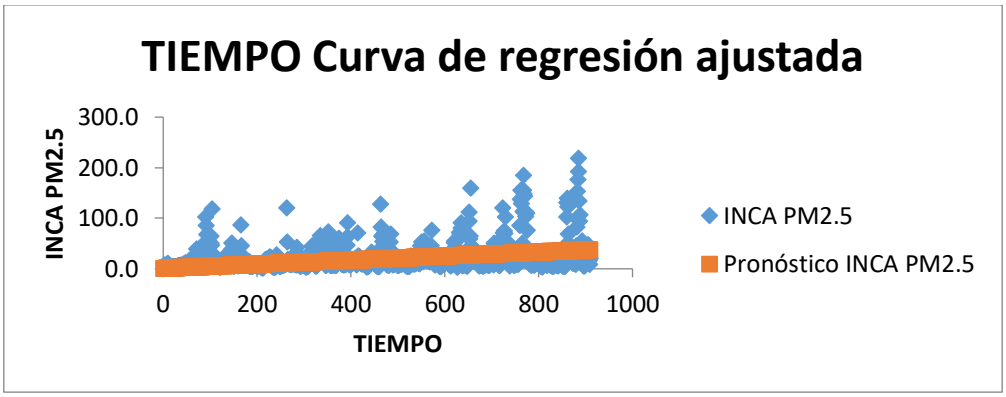
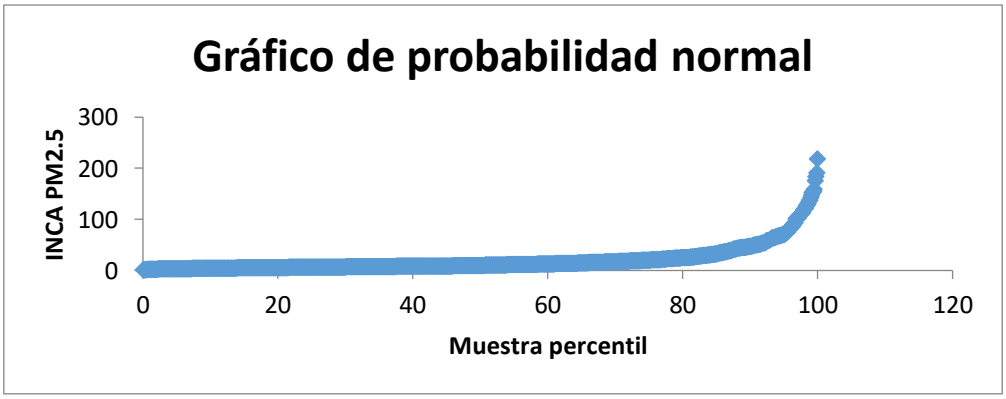


Figura 28

Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Yarinacocha



Anexo 4. Análisis estadístico de regresión ajustada y probabilidad normal de datos de INCA de CO, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el distrito Callería

Figura 29

Curva de regresión ajustada de datos para CO del distrito Callería

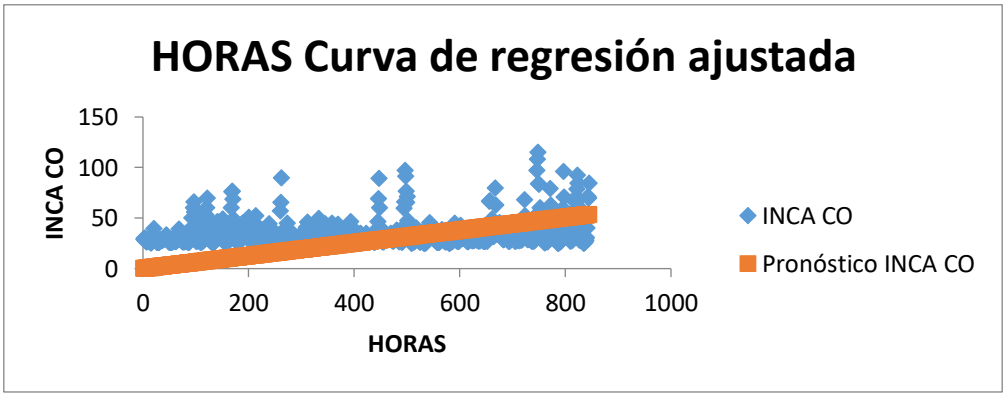


Figura 30

Curva de probabilidad normal de datos de CO del distrito Callería

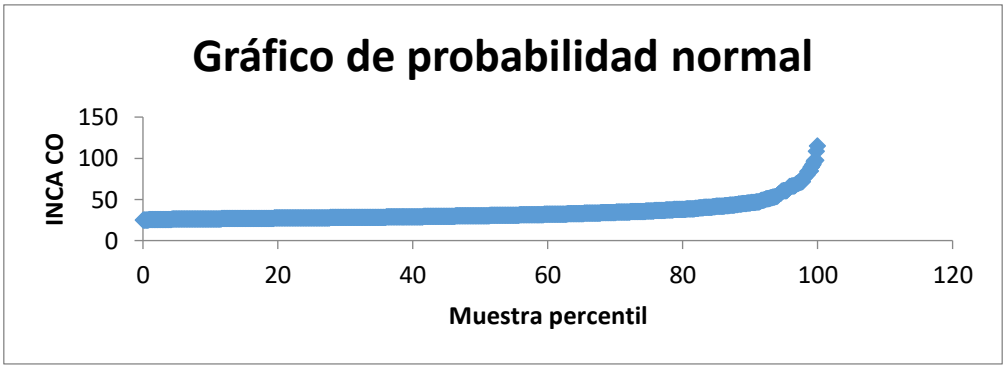


Figura 31

Curva de regresión ajustada de datos para PM_{10} del distrito Callería

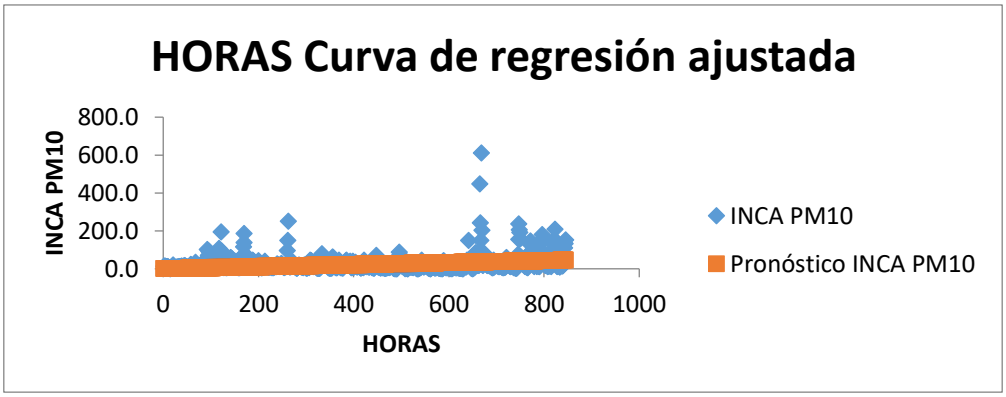


Figura 32

Curva de probabilidad normal de datos de PM_{10} del distrito Callería

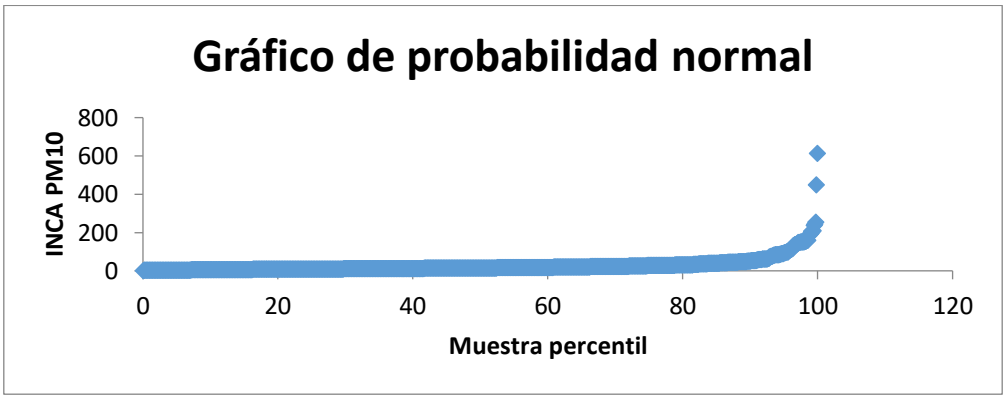


Figura 33

Curva de regresión ajustada de datos para $PM_{2.5}$ del distrito Callería

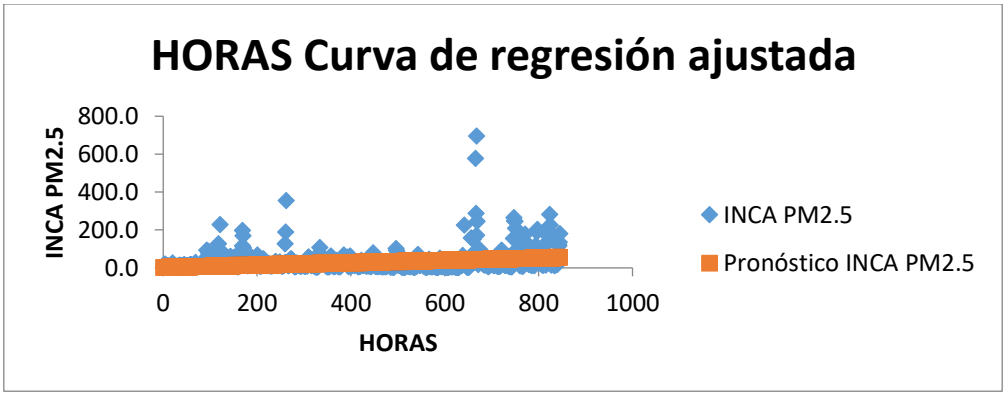
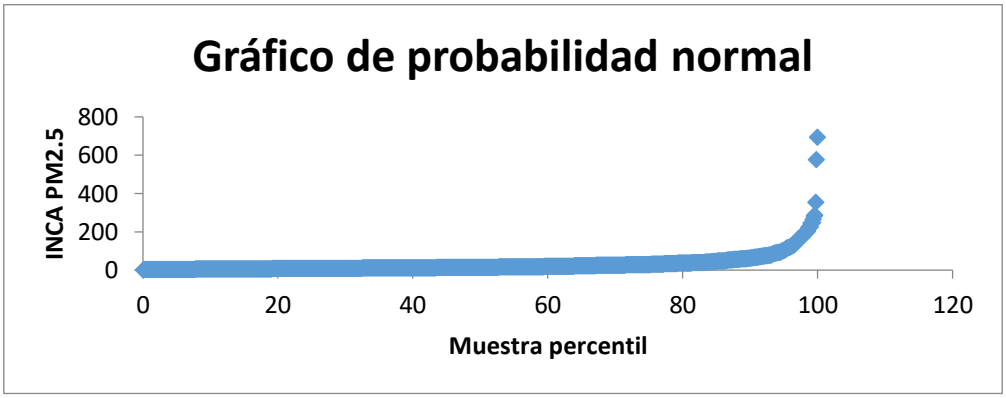


Figura 34

Curva de probabilidad normal de datos de $PM_{2.5}$ del distrito Callería



Anexo 5. Panel de fotografías.

Figura 35

Registro de datos de concentración de monóxido de carbono (CO), en el punto de muestreo N° 8 del distrito de Callería





Figura 36

Registro de datos sobre concentración de material particulado (PM_{10}-$PM_{2.5}$), en el punto N° 8 del distrito de Callería





Anexo 6. Matriz de consistencia

TESIS: "DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN TRES CAPITALES DISTRITALES DEL DEPARTAMENTO UCAYALI - 2022"						
	PROBLEMA	**OBJETIVOS**	**HIPÓTESIS**	**VARIABLE** **INDEPENDIENTE (X)**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**
GENERAL	¿Cuál es el índice de calidad del aire en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?	Determinar el índice de calidad del aire en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.	**Hipótesis Nula:** Los índices de calidad del aire en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde tienen clasificación buena. **Hipótesis alternante:** Los índices de calidad del aire en capitales distritales de Callería Yarinacocha y Campo Verde tienen clasificación moderada.	X1: Monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2). X2: Material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). X3: Concentración de ozono (O_3) y sulfuro de hidrogeno (H_2S).	Buena Moderada Mala Umbral de cuidado	Índice de la calidad ambiental del aire (microgramos/m^3).
ESPECIFICOS	¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?	Determinar el índice de calidad del aire por monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.	Los índices de calidad del aire por concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde son de moderado a malo.	**DEPENDIENTE (Y)** Y1: Calidad del aire del distrito de Callería.	Alto Medio Bajo	CO = 10000 µg/m^3] SO2 = 250 [µg/m^3] NO2 = 200 [µg/m^3]
	¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?	Determinar el índice de calidad del aire por material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.	Los índices de calidad del aire por concentración de material particulado en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde son de moderado a malo.	Y2: Calidad del aire del distrito de Yarinacocha.	Alto Medio Bajo	PM_{10} = 100 [µg/m^3] $PM_{2.5}$ = 50 [µg/m^3]
	¿Cuál es el índice de calidad del aire por concentración de ozono (O_3) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde?	Determinar el índice de calidad del aire por ozono (O_3) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde.	Los índices de calidad del aire por concentración de ozono (O_3) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) en capitales distritales de Callería, Yarinacocha y Campo Verde, son de buena a moderada.	Y3: Calidad del aire del distrito de Campo Verde.	Alto Medio Bajo	O_3 = 100 [µg/m^3] H_2S = 150 [µg/m^3]