



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LOS
PARAMETROS CO_x Y CO₂ EN LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA
DE CALPI CANTÓN RIOBAMBA”.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: NORMA ROCIO UGENIO YEPEZ

DIRECTORA: Ing. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

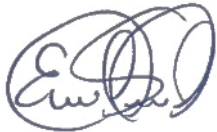
© 2021 Norma Rocío Ugenio Yépez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho del Autor.

Yo, NORMA ROCÍO UGENIO YÉPEZ declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 16 marzo del 2021




A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Norma Rocío Ugenio Yépez', enclosed within a circular scribble.

Norma Rocío Ugenio Yépez

C.I. 0605112002

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LOS PARÁMETROS CO_x y CO₂ EN LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA DE CALPI CANTÓN RIOBAMBA**, realizado por la señorita: **NORMA ROCÍO UGENIO YEPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Soledad Núñez Moreno MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MARIA SOLEDAD NUNEZ MORENO _____	2021-09-09
Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui. PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MARIA RAFAELA VITERI UZCATEGUI _____	2021-09-09
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCES _____	2021-09-09

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado con mucho cariño a mis padres y mis hermanos, gracias por su motivación, paciencia y confianza; ellos son mi inspiración para seguir adelante, y mi mayor motivación para alcanzar mis metas y sueños.

Norma

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a mis padres, y a Dios por la fortaleza que se me ha concedido en los momentos críticos, especialmente familia por apoyarme incondicionalmente, a quienes estuvieron pendientes de mí, en todo momento.

También un agradecimiento de manera especial a Ing. Rafaela Viteri por su confianza, compromiso y por compartir sus conocimientos valiosos para el desarrollo del presente trabajo.

Norma

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
SUMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1.	Antecedentes de la investigación.....	4
1.2.	Marco conceptual.....	4
1.2.1.	<i>Atmósfera</i>	4
1.2.2.	<i>Componentes de la atmósfera</i>	4
1.2.3.	<i>Estructura de la atmósfera</i>	5
1.2.4.	<i>Contaminación atmosférica</i>	6
1.2.5.	<i>Contaminantes atmosféricos</i>	6
1.2.6.	<i>Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud</i>	7
1.2.7.	<i>Monitoreo atmosférico para COx y CO2</i>	7
1.2.8.	<i>Calidad del aire</i>	8
1.2.9.	<i>Componentes del dispositivo portátil de monitoreo</i>	10

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	13
2.1.	Tipo de investigación.....	13
2.2.	Diseño de estudio.....	13
2.3.	Unidad de estudio.....	13
2.4.	Cuantificación de las muestras.....	13
2.4.1.	<i>Selección de los puntos de estudio</i>	13
2.4.2.	<i>Colocación de los dispositivos de monitoreo</i>	16

2.5.	Técnicas de recolección de datos.....	16
2.6.	Calibración de los sensores MQ7 y MQ135	19
2.7.	Cálculo de R0.....	23
2.8.	Análisis de datos	26

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS.....	27
3.1.	Implementación de dispositivos Arduino en la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba	27
3.2.	VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL LUGAR DE ESTUDIO: temperatura, humedad y dirección del viento.	28
3.3.	Recolección de datos, fecha, hora, humedad, temperatura, COx y CO2	31
3.4.	Análisis estadístico ANOVA y método de Tukey	34

CONCLUSIONES.....	45
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	46
-----------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición química de la atmósfera.....	5
Tabla 1-2: Concentración de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia de la calidad del aire.....	9
Tabla 1-3: Valores límite de exposición profesional (LEP).....	9
Tabla 2-1: Ubicación geográfica.....	13
Tabla 2-2: Ubicación gráfica de los puntos de muestreo	14
Tabla 2-3: Distancia en metros lineales para cada uno de los puntos	16
Tabla 2-4: Datos de sensibilidad de CO _x sensor MQ-7	20
Tabla 2-5: Datos de sensibilidad de CO ₂ sensor MQ135.....	22
Tabla 2-6: Valores de función exponencial para CO _x y CO ₂	23
Tabla 3-1: Promedio diario de datos obtenidos mediante dispositivos Arduino.....	31
Tabla 3-2: Promedio de datos diarios convertidos a ug/m ³ de CO _x y ppm en CO ₂	32
Tabla 3-3: Análisis de varianza (ANOVA) para CO _x ug/m ³	34
Tabla 3-4: Resumen ANOVA.....	34
Tabla 3-5: Medias desviación estándar e intervalos de confianza	35
Tabla 3-6: Información utilizando el método de Tukey con una confianza de 95%- CO _x	38
Tabla 3-7: Análisis de Varianza de CO ₂ ppm.	40
Tabla 3-8: Resumen del modelo	40
Tabla 3-9: Medias, desviación estándar e intervalo de confianza.....	40
Tabla 3-10: Agrupar la información utilizando el método de Tukey con una confianza del 95%	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Selección los puntos de monitoreo para CO _x y CO ₂ en la zona sur de la parroquia Calpi Cantón Riobamba	15
Figura 2-2: Ensamblaje de los dispositivos de medición CO _x y CO ₂ humedad, temperatura	17
Figura 2-3: Curva de sensibilidad sensor MQ7 gas CO	19
Figura 2-4: Curva de sensibilidad sensor MQ135 gas CO ₂	21
Figura 3-1: Ubicación e implementación de sensores MQ7 y MQ135.....	27
Figura 3-2: Temperatura promedio de la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba.....	28
Figura 3-3: Porcentaje de Humedad promedio de la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba	29
Figura 3-4: Dirección de viento y curvas de nivel zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba	30
Figura 3-5: Distribución promedio del contaminante CO _x ug/m ³ del mes 18 julio-agosto del 2020.....	36
Figura 3-6: Distribución promedio del contaminante CO ₂ ppm del mes 18 julio-agosto del 2020	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Curva de sensibilidad de CO _x sensor MQ-7	21
Gráfico 2-2: Curva de sensibilidad de CO ₂ , sensor MQ135	23
Gráfico 3-1: Concentración promedio de CO _x ug/m ³	37
Gráfico 3-2: Medias agrupadas de CO _x ug/m ³ e intervalo de confianza.....	39
Gráfico 3-3: Promedio de CO ₂ ppm de los puntos de muestreo.....	42
Gráfico 3-4: Medias agrupadas de CO ₂ ppm por el método de Tukey	44

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROCESO DE CALIBRACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS
- ANEXO B:** RECOLECCIÓN DE LOS DATOS EN LA ZONA DE ESTUDIO
- ANEXO C:** CÁLCULO DE LOS DATOS DE LOS CONTAMINANTES
- ANEXO D:** DATOS RECOLECTADOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADC	Conversión analógica a digital
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
DHT11	Sensor de temperatura y humedad
IAQ	Índice de calidad de interiores
ICA	Índice de calidad del aire
IQCA	Índice de calidad del aire de Quito
MAAE	Ministerio de Ambiente y Agua de Ecuador
MQ7	Sensor de monóxido de carbono
MQ135	Sensor de calidad de aire
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O₃	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
ppm	Partes por millón.
RCT	Reloj de tiempo real
RL	Resistencia de carga
RO	Resistencia a 100 ppm
RS	Resistencia del sensor
Void loop	Ejecución de los comandos
Void setup	Inicio de programación

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue identificar la cantidad de emisiones de monóxido de carbono (COx) y dióxido de carbono (CO₂) en la zona sur de la parroquia de Calpi, cantón Riobamba. Se armaron dispositivos portátiles, los mismos que estaban integrados por un adaptador de micro SD, placa Arduino Uno y los siguientes sensores: DHT11 para el monitoreo de temperatura y humedad, ZS-042 sensor de hora, MQ7 sensor de monóxido de carbono, MQ135 sensor de dióxido de carbono. Dichos dispositivos portátiles fueron colocados en diez puntos de monitoreo, se recolectaron tres datos por hora, las 24 horas del día por un período de treinta días, dándose un mantenimiento cada ocho días. Una vez obtenida la información se realizaron cálculos de calibración de datos, conversión de unidades y el análisis estadístico correspondiente. Los resultados refirieron que los puntos de mayor emisión fueron: P7 con 997.97 ug/m³ de COx y P2 con 24.73 ppm de CO₂, valores se encuentran dentro de los parámetros del Acuerdo Ministerial 097-A del 2015 y la guía del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo del 2019 (INSST) respectivamente. Se recomienda realizar un monitoreo en distintos períodos a través de dispositivos portátiles por su facilidad de transporte, así como elaborar una base de datos de mayor robustez.

Palabras clave: < MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE >, <MQ7 SENSORES DE CO>, <MQ135 SENSOR DE CO₂>, <SOFTWARE ARDUINO>, < CALPI (PARROQUIA)>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.26
11:34:00 -05'00'



1975-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The aim of this research was to identify the amount of carbon monoxide (CO_x) and carbon dioxide (CO₂) emissions in the southern area of the Calpi parish, Riobamba country. Portable devices were integrated which were composed of a micro-SD adapter, an Arduino Uno board, and the following sensors: DHT11 for temperature and humidity monitoring, time sensor ZS-042, carbon monoxide sensor MQ7, and carbon dioxide sensor MQ135. These portable devices were placed at ten monitoring points. Three data were collected per hour, 24 hours a day for a period of thirty days, maintenances were executed every eight days. Once the information was obtained, data calibration calculations, unit conversion and the corresponding statistical analysis were performed. The results indicated that the highest emission points were: P7 with 997.97 ug/m³ of CO_x and P2 with 24.73 ppm of CO₂. Such values are within the parameters of the Ministerial Agreement 097-A of 2015 and the guide of the National Security Institute and Health at Work of 2019 (INSST) respectively. It is recommended to carry out monitoring in different periods with the use of portable devices due to its easy transportation, as well as the implementation of a better database.

Keywords: <AIR QUALITY MONITORING>, <MQ7 CO SENSORS>, <MQ135 CO2 SENSOR>, <ARDUINO SOFTWARE>, <CALPI (PARISH)>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las actividades antropogénicas e industriales como la agricultura no controlada, construcción, minería, perforaciones petroleras, y el parque automotor han contribuido a la contaminación ambiental, generando problemas en la salud humana y los ecosistemas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica es una de las prioridades en temas de salud a nivel global, esto se debe al número de muertes que ocasionan contaminantes atmosféricos como el material particulado, y gases como CO_2 , CO , NO_x , entre otros (Ballester, 2005, párr. 2). Este organismo además refiere que más del 90% de la población respira niveles altos de contaminantes del aire, mismos que superan los estándares de calidad. Es así que el aire exterior e interior causan la muerte de aproximadamente de 7 millones de individuos por año (WHO, 2018a, párr. 2; Earthdata, 2021, párr. 1).

La contaminación atmosférica en Ecuador es considerable, debido al incremento de las actividades industriales manufactureras, refineras, actividades agrícolas y el tráfico terrestre, aspectos que generan impactos ambientales significativos en ciudades como: Quito, Guayaquil, Ambato, Cuenca y Manabí. A nivel nacional, las investigaciones realizadas por las universidades y el Ministerio del Ambiente y Agua mencionan que ciertas actividades o proyectos exceden los límites permisibles establecidos en la normativa de calidad del aire en Ecuador y los parámetros permisibles implementados por OMS; entre los contaminantes que sobrepasan los límites permisibles están: CO_x , CO_2 , SO_x , NO_x (Geoecuador, 2008, pp. 1-2; Rodríguez-Guerra y Cuvi, 2019, pp. 1). El INEC (2010, pp. 1) afirma que “La población de la parroquia de Calpi, es de 6.170 habitantes con una tasa de crecimiento poblacional de 0.53%.”. La preocupación es creciente por la calidad del aire en el sector rural debido al incremento de instalaciones de tipo industrial en la zona sur y en la parroquia de Calpi, situación que afecta a ciertas comunidades, como Chiquicaz, Teल्पala, Chamboloma, San José de Chanchahuan, San José de Bayubug. Conforme al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Calpi, las zonas de producción afectan directamente al recurso aire, como consecuencia de la emisión de humo o material particulado, gases y olores (GAD Calpi, 2015, pp. 44). Bajo este contexto, el objetivo del presente proyecto es identificar la cantidad de emisiones de CO_x y CO_2 existentes en la zona sur de la parroquia de Calpi del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

JUSTIFICACIÓN

A escala nacional, existen muy pocas investigaciones acerca de los niveles de contaminantes atmosféricos en zonas industriales rurales. En la zona sur de Calpi, la actividad económica principal es la agricultura, no obstante, a la fecha se han instalado grandes industrias de producción o servicios en el sector, tales como: construcción, alimentos e hidrocarburos. En este sentido, debido a la falta de información de calidad del aire en áreas rurales y a los proyectos instalados en la parroquia, se identifica la necesidad de implementar el presente proyecto. Para ello se obtuvieron datos informativos de contaminantes como CO_x y CO_2 emitidos por empresas industriales y el flujo vehicular, a fin de buscar soluciones a los problemas existentes y mejorar la calidad del aire y la salud de la población aledaña.

La información referente a la concentración de CO_x y CO_2 que se pueda encontrar en el aire, permitirá identificar los efectos negativos que causan dichos contaminantes en la salud humana y el ambiente. La tecnología empleada permite obtener datos en tiempo real, con el hardware y software de código abierto, mediante la plataforma Arduino acoplado a los sensores MQ135 y MQ-7, lector de Tarjeta Micro SD y un micro SD. Adicionalmente se logró evaluar por métodos estadísticos la información recolectada de los sensores MQ7 Y MQ135 de los gases. La facilidad de recolección, obtención y almacenamiento de datos constituirán un punto de referencia acerca de las emisiones generadas en la zona sur de la parroquia de Calpi.

El beneficio directo de esta investigación recae en los pobladores que viven en las zonas aledañas a la empresa cementera, ya que se proveerá información accesible de acuerdo a la normativa ambiental ecuatoriana vigente, ayudando a identificar los riesgos potenciales asociados a la contaminación del aire, así como en la formulación de políticas ambientales.

OBJETIVOS

General

- Monitorear la calidad del aire para los parámetros CO_x y CO_2 en la zona sur de la parroquia de Calpi, cantón Riobamba.

Específicos

- Implementar sensores MQ135 y MQ-7 acoplados a la plataforma Arduino para el monitoreo de CO_x y CO_2 del aire en la zona sur de la parroquia de Calpi, cantón Riobamba.
- Recolectar datos obtenidos a partir del Arduino y diferentes sensores en la zona sur de la parroquia de Calpi.
- Analizar mediante métodos estadísticos los datos recolectados en campo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

La incertidumbre derivada de la falta de información sobre la calidad del aire en la parroquia de Calpi ha crecido debido a la implantación de diferentes proyectos industriales en la zona sur. Existe muy poca información acerca del monitoreo ambiental en áreas rurales, de modo que con el propósito de conocer la cantidad de emisiones que existe en el aire rural, se empleó sensores que tomaban las muestras las 24 horas del día, y fueron colocados en los 10 puntos de monitoreo, con el fin de garantizar los datos recolectados y almacenados.

Condori Roque, Herrera Roque (2019, pp. 26-27) señalan que tomando en cuenta el costo y beneficio de los sensores, para obtener los resultados, los dispositivos están programados para monitorear diferentes gases como el CO_x, CO₂, provenientes de los vehículos, incendios forestales, entre otros.

Conforme a la experiencia de Carrera (2015, pp. 102), los dispositivos fueron armados con el propósito de cumplir los requisitos necesarios para tomar muestras en la ciudad de Quito, los resultados reflejaron valores mínimos y máximos que se obtuvieron durante las mediciones 12-18 de un total de 169 muestras tomadas dentro de los límites permisibles.

1.2. Marco conceptual

1.2.1. *Atmósfera*

La atmósfera es una capa gaseosa que rodea la Tierra, con un grosor de 480 km de distancia, la mayoría de la actividad se desarrolla alrededor de los 16 km que mantiene el campo gravitatorio, a medida que aumenta la altitud la presión disminuye. La atmósfera también actúa como un regulador térmico que trae lluvia de los océanos, calor de los desiertos y trópicos, y frío de los polos (Boldo, 2016, pp. 18; Sharp, 2017, párr. 2).

1.2.2. *Componentes de la atmósfera*

La composición gaseosa del aire correspondiente a la capa troposférica (16 km), para el desarrollo de la vida de los seres humanos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1-1: Composición química de la atmósfera

Gas	Fórmula	Porcentaje de volumen %
<i>Gases permanentes</i>		
Nitrógeno	N_2	78.08
Oxígeno	O_2	20.95
Argón	Ar_2	0.93
Neón	Ne	0.0018
Helio	He	0.0005
Hidrógeno	H_2	0.00006
Xenón	Xe	0.000009
<i>Gases variables</i>		
Metano	CH_4	0.0002
Kriptón	Kr	0.000114
Hidrógeno	H_2	0.00005
Dióxido de carbono	CO_2	0.036
Ozono	O_3	0.000004
Partículas (polvo)		0.000001
Clorofluorocarbonos		0.00000001
Vapor de agua	H_2O	0-4

Fuente: Camilloni y Vera, 2003, pp.16.

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

1.2.3. Estructura de la atmósfera

1.2.3.1. Troposfera

Sharp (2017, párr.5) y Zell (2015, párr. 1) mencionan que esta es la primera capa de la tierra que se encuentra a una altura de 12-20 km; en ella el aire es más denso y se puede encontrar polvo, vapores de agua y las nubes.

1.2.3.2. Estratosfera

Es la segunda capa que se encuentra a una distancia de 50 km de altura, se caracteriza por tener una temperatura de aproximadamente 52°C, en esta capa se produce la formación máxima de ozono y se puede visibilizar el vuelo de los aviones y los globos meteorológicos (Solís Segura y López Arriaga, 2003, pp. 77; Sharp, 2017, párr. 6).

1.2.3.3. Mesosfera

Según Sharp (2017, párr. 7), la mesosfera se encuentra a una altura de 85 km, y posee una temperatura de -92°C . En esta capa se produce la desintegración de los meteoritos (estrellas fugaces).

1.2.3.4. Termosfera

La termosfera también se conoce como la IONÓSFERA, se encuentra a una altura de 80-550 km y con una temperatura de 1200°C . En esta capa se encuentran la estación espacial internacional, y se puede visibilizar las auroras boreales, el oxígeno es muy escaso (Sharp, 2017, párr. 8).

1.2.3.5. Exosfera

Se encuentra a una distancia mayor a 1000 km, también se le conoce como la última capa de la atmósfera, aquí se desarrolla la unión de los gases de la atmósfera y el espacio exterior (Zell, 2015, párr. 6).

1.2.4. Contaminación atmosférica

Según Boldo (2016, pp. 18) y el Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial (2004, pp. 13-14), la contaminación atmosférica hace referencia a cualquier condición que rompa el equilibrio del aire, esa mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre y que es esencial para la existencia de la vida en la Tierra.

1.2.5. Contaminantes atmosféricos

A los contaminantes atmosféricos se los define como todo elemento o compuesto químico, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire, y que implique riesgo, daño o molestias graves para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Puede estar en forma de sólida, líquida o gaseosa (Ubilla y Yohannessen, 2017, pp. 112; Nathanson, 2018, párr. 1-2).

Solís Segura y López Arriaga (2003, pp. 84); Ubilla y Yohannessen (2017, pp. 112) indican que los contaminantes atmosféricos provienen de diversas fuentes, siendo éstas:

- **Fuentes puntuales.** Relacionadas con las actividades industriales principalmente.
- **Fuentes móviles:** Se vinculan con el sector del transporte, ya sea terrestre, aéreo, o marítimo.
- **Fuentes de área.** Proviene de las actividades propias de cada lugar.

1.2.5.1. Contaminantes primarios

Según Katch (2019, pp. 12); Ubilla y Yohannessen (2017, pp. 112), los contaminantes primarios son aquellos que se producen o emiten en la atmósfera, pueden ser generados por los vehículos, empresas o las erupciones volcánicas.

1.2.5.2. Contaminantes secundarios

Son aquellos que forman a partir de las reacciones químicas de los contaminantes primarios, es así que en el caso del smog que es producido por la quema de madera, el humo de los vehículos o de las industrias, ingresa con la atmósfera y reacciona para formar contaminantes secundarios (Katch, 2019, párr. 21).

1.2.6. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud

Conforme a la OPS/OMS (2016, párr. 1-2), la contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en América, además se ha estimado que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas a la contaminación atmosférica.

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud son graves, reportándose: accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y cardiopatías. La falta de contaminación atmosférica visible no es una indicación de que el aire sea saludable. En las ciudades y pueblos de todo el mundo, los contaminantes tóxicos superan los valores anuales promedio recomendados en las directrices de la OMS sobre la calidad del aire (WHO 2018b, párr. 3-5).

1.2.7. Monitoreo atmosférico para CO_x y CO₂

1.2.7.1. Monitoreo atmosférico

El monitoreo atmosférico es catalogado como una herramienta primordial que permite conocer los contaminantes emitidos al ambiente, así como también nos ayuda a regular de acuerdo a la normativa vigente de calidad ambiental de cada país.

A partir de la información o datos obtenidos en campo se pueden realizar ciertas acciones de mitigación de acuerdo al tipo de contaminante, así como también permite conocer si los contaminantes emitidos al aire, se encuentran dentro o fuera de los parámetros permisibles (Salcido et al., 2019, párr. 4-7).

1.2.7.2. Monóxido de carbono (CO_x)

El monóxido de carbono se forma a partir de los residuos de la combustión que no fueron quemados en su totalidad, tal es el caso de las emisiones que generan los vehículos, la quema de madera, las industrias, etc. Este gas es sumamente peligroso, ya que en altas concentraciones puede generar sofocación si se encuentra expuesto por un período o tiempo prolongado (Ubilla y Yohannessen, 2017, pp. 113; Petruzzello, 2018, párr. 1-2).

1.2.7.3. El dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono es considerado como el responsable del calentamiento global, actualmente se encuentra en el aire a una concentración de 415 ppm. Es emitido por vehículos, industrias y la quema de madera. Este gas no es peligroso a pesar de estar presente en la atmósfera a altas concentraciones (Porta, Sánchez y Colman Lerner, 2018, pp. 20; Rafferty, 2021, párr. 1-3).

1.2.8. Calidad del aire

La calidad del aire tiene una relación estrecha con variables climáticas como la temperatura del ambiente, la humedad, la dirección del viento, la cobertura vegetal, la nubosidad y el clima de cada región (Porta, Sánchez y Colman Lerner, 2018, pp. 40).

La determinación de la calidad del aire permite comparar información obtenida con la normativa que establece los parámetros permisibles sobre la contaminación ambiental, aspecto que genera una serie de beneficios para la salud de la población afectada y del ambiente en general, a través de la implementación de medidas de prevención, minimización o mitigación (WHO, 2016, pp. 24).

1.2.8.1. Calidad del aire del Ecuador

La calidad del aire en Ecuador depende del contexto local y de las actividades de índole comercial o industrial que allí se ejecuten. A nivel nacional, existe una normativa de calidad de aire o nivel de emisión, donde se indican los niveles de exposición a los contaminantes por un tiempo determinado, y paralelamente se establecen los rangos de alerta, siendo estos: alerta, alarma y emergencia.

Los contaminantes principales que generan impactos negativos en el aire ambiente son los gases emitidos por los vehículos que utilizan diésel, siendo este problema prominente en ciudades de mayor afluencia de medios de transporte (Loaiza, 2019, párr. 1-3).

1.2.8.2. Normativa de calidad de aire de Ecuador

El Acuerdo Ministerial 097 – Anexo 4: “Calidad del aire ambiente” establece los siguientes niveles de alerta según la concentración de diferentes contaminantes.

Tabla 1-2: Concentración de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia de la calidad del aire

Contaminante y periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de carbono Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	200	400	600
Dióxido de nitrógeno Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	200	1000	1800
Material particulado PM10 Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	250	400	500
Material particulado PM2.5 Concentración promedio en 8 horas ug/m ³	150	250	350

Nota: Todos los valores de concentración expresadas en microgramos por metro cúbico de aire a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

Fuente: Tapia Núñez (2015, pp. 56).

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La concentración de dióxido de carbono en la naturaleza oscila en torno a los 400 ppm, los valores límite de CO₂ no se puede encontrar en normativas, reglamentos, y decretos. Los valores referenciales presentados a continuación son adquiridos de las guías de INSHT (CO₂ Earth, 2021.párr. 1-3; INSTH, 2019, pp. 67).

Tabla 1-3: Valores límite de exposición profesional (LEP)

Contaminante y período de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Dióxido de carbono Concentración promedio en 8 horas ppm	5.000	1000	30.000

Fuente. INSST (2019, pp. 67).

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

1.2.9. Componentes del dispositivo portátil de monitoreo

1.2.9.1. Hardware

Comprende a todos los materiales físicos del computador, tablet, smartphone, así como el disco duro, componentes que nos ayudan a programar, así como a recolectar y almacenar los datos requeridos y por último la salida de la información programada (Cemuda del Río y Gayo Avello, 2006. pp. 43-44).

El hardware está diseñado conforme a cada tipo de proyecto, siendo para este caso práctico: los componentes electrónicos como la placa Arduino, los sensores de hora, temperatura, cables jumper, así como la tarjeta micro SD.

1.2.9.2. Arduino

El software IDE (*Integrated Development Environment*) del Arduino permite realizar una infinidad de proyectos mediante el programa que lleva el mismo nombre y que es de acceso libre. La placa Arduino y software son verificadas por medio de una computadora mediante sus microcontroladores integrados en sus placas antes de la recolección de los datos (ARDUINO.CC 2015a, párr. 1-5; Seedstudio, 2019, pp. 3-5).

- *Arduino Uno*

A la placa se la denomina “Uno”, ya que corresponde a la versión 1.0. El Arduino uno contiene un microprocesador ATmega328P, 14 pines de los cuales 6 pines son de entradas analógicas que tranquilamente pueden trabajar con corriente eléctrica de 5-12 V, dispone de un adaptador, una memoria de 32 kb, con conector de alimentación de USB, masa de 25 g, y mide de largo 68 mm y ancho 53 mm (ARDUINO.CC, 2015b, párr. 1-2).

- *Arduino Mega 2560*

El Arduino mega 2560 tiene mayor capacidad de almacenamiento posiblemente de todas las familias Arduino, se basa en ATmega2560, posee 54 pines de entradas y salidas digitales de los cuales 16 pines son entradas analógicas de 10 bits, trabaja con una corriente de 7-12 V, tiene una resistencia de 20-50 K Ω , una capacidad de almacenamiento de 256kb, y un puerto para USB que es utilizado como alimentación para conectar al ordenador. Arduino mega es compatible con el Arduino Uno (ARDUINO.CC, 2015a, párr. 1-3 2015c. párr. 1-2).

1.2.9.3. Sensores

Los datos son recolectados mediante sensores en función del tipo de proyecto, estos son programados con sus parámetros, variables y sus características establecidas, que se conocen como dispositivos de entrada y salidas (Corona, Abarca y Carreño, 2014, pp. 18-19).

- *Sensor temperatura*

El sensor de temperatura es un instrumento que nos permite adquirir información acerca de los cambios climáticos existentes en el ambiente, la señal es enviada por medio de una corriente eléctrica la cual es enviada para su posterior análisis (Soler y Palau, 2017, párr. 1-3).

- *Sensor de temperatura y humedad*

Denominado como DHT11 por sus códigos de verificación, el sensor DHT11 mide la temperatura y la humedad del aire y provee la información con una precisión de ± 0.5 de humedad y un ± 0.2 °C de temperatura. Este sensor se une a través de tres pines machos que serán acoplados a los cables jumper hembras, trabajan a 5 V y deben ser calibrados para prever los errores al momento de la salida de los datos (Llamas, 2016, párr. 1-4).

- *Sensor hora*

ZS-042 es el sensor de hora, el cual nos permite programar los parámetros de tiempo: fecha y año, el reloj CR2032 tiene una duración aproximadamente de 3 años con una fuente de alimentación de 3 V, viene integrado con 6 pines que se los utiliza para la señal de datos, señal de reloj y señal de tierra machos para su acoplamiento respectivo (Ventura, 2016, párr. 1-2).

- *Sensor MQ- 7*

El sensor MQ-7 es altamente sensible para monitorear el monóxido de carbono (CO) del aire, detecta dicho gas dentro del siguiente rango: 20 -2000 ppm. Entre sus características destacan que se pueden calibrar y programar específicamente para detectar el CO, son reutilizables y duraderos, requieren de energía de 5 V, para la calibración se requiere de un precalentamiento de 24-48 horas, desde ese momento se podrá medir con mayor exactitud (Yehui, 2014, pp. 1).

- *Sensor MQ-135*

El sensor MQ135 es el dispositivo que permite monitorear el control de calidad del aire donde permite detectar ciertos contaminantes como CO_2 , NO_x , NH_3 , benceno, alcohol, humo, entre otros. Desde el punto de vista económico es asequible, y mediante el monitoreo este sensor de calidad ambiental ayuda a identificar que contaminantes pueden ser peligrosos para la salud.

Sus características son: Salida de datos digitales y analógicos, temperatura de operación entre los -20 a 70 ° C, tiempo de estabilidad de 12 -48 horas, compatible con Arduino uno, mega 2560, nano etc. Se aplica en contaminación del aire doméstico, contaminación industrial del aire y contaminación del aire en general (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, 2015a, pp. 3; Olimex, 2008, pp. 1).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo cuantitativa dado se recolectó información o datos de tipo numérico en el ámbito de campo, a partir de los cuales se realizó el análisis estadístico mediante programas o software matemáticos que permitieron obtener resultados y llegar a determinadas conclusiones.

2.2. Diseño de estudio

El diseño del presente proyecto es “no experimental”, ya que está basado en la recolección de datos numéricos mediante los sensores MQ7, MQ135 y la placa Arduino Uno, con el fin de determinar la concentración de CO_X y CO_2 en la parroquia de Calpi.

2.3. Unidad de estudio

La investigación se realizó en la zona sur de la parroquia Calpi, que se encuentra ubicada a 5 km del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Sus puntos de referencia son:

Tabla 2-1: Ubicación geográfica

Altitud (msnm)	Latitud sur	Longitud occidental
3516	1°39'23.47”	78°45'18.41”

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La unidad de análisis corresponde el área de influencia directa de los proyectos o actividades industriales, donde se monitoreó la concentración de CO_2 y CO_X .

2.4. Cuantificación de las muestras

2.4.1. Selección de los puntos de estudio

La selección de la muestra se dio de forma aleatoria, con la finalidad de garantizar la confiabilidad de la información obtenida. Los puntos de monitoreo fueron seleccionados en función del nivel de actividad industrial y la distancia; para ello se identificó previamente el proyecto industrial, así

como las comunidades aledañas que podrían verse afectadas, siendo estas: San José de Chanchahuan y San José de Bayobug.

En la Tabla 2-2 se presentan las coordenadas UTM (Datum: WGS 1984) de los puntos de monitoreo, los cuales fueron obtenidos con la ayuda de un GPS y fueron proyectados a través del software ArcGIS 10.3 (Figura 2-1).

Tabla 2-2: Ubicación geográfica de puntos de muestreo sur Calpi, Riobamba

Puntos de muestreo	Este (X)	Norte (Y)
P1	749493.58 m E	9816635.71 m S
P2	749047.60 m E	9816603.48 m S
P3	749172.96 m E	9817055.67 m S
P4	749166.82 m E	9817247.38 m S
P5	749041.54 m E	9817354.31 m S
P6	748900.33 m E	9817233.28 m S
P7	750058.45 m E	9817509.19 m S
P8	750432.94 m E	9817624.41 m S
P9	750464.46 m E	9817053.18 m S
P10	750518.78 m E	9816959.97 m S

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

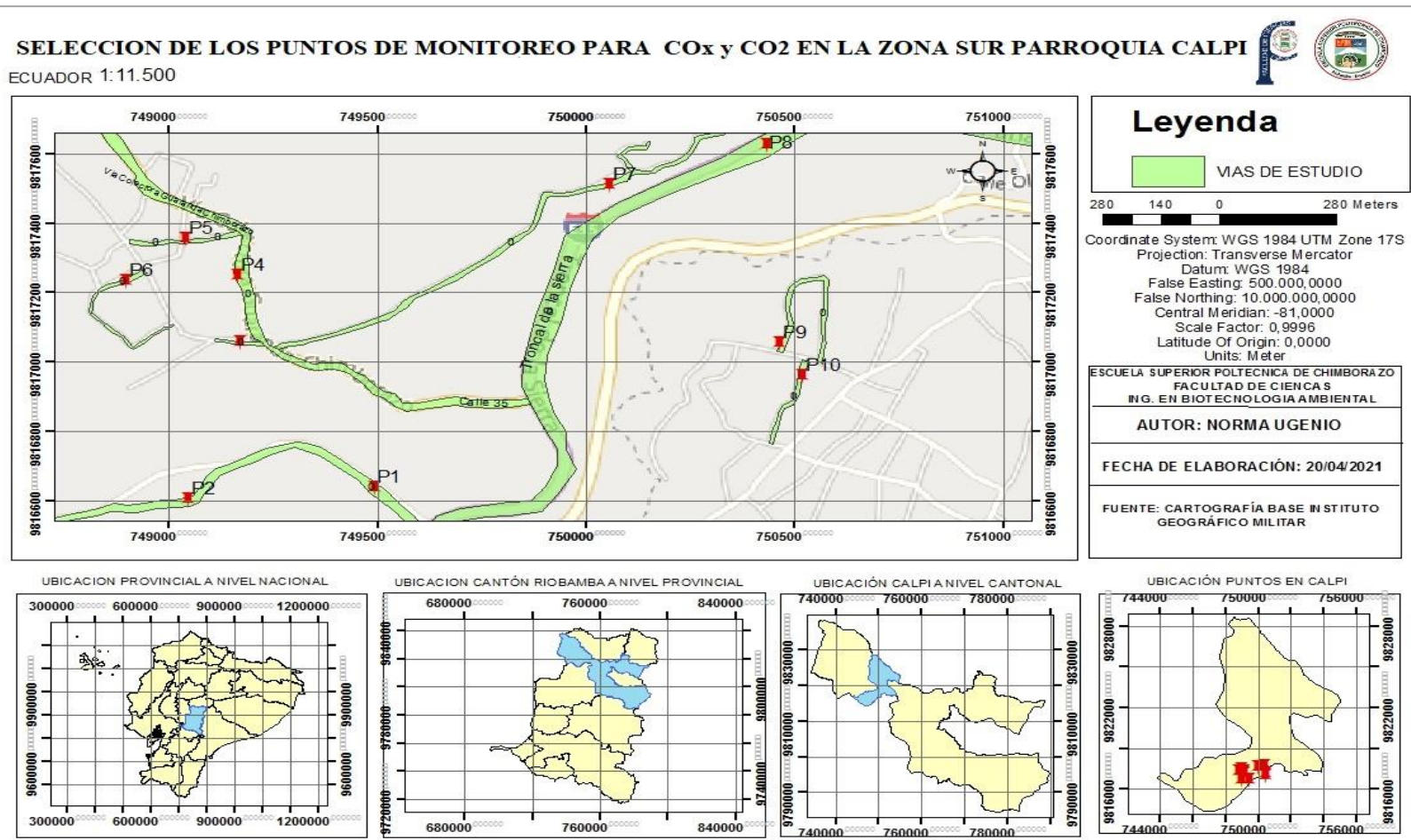


Figura 2-1: Selección los puntos de monitoreo para CO_x y CO₂ en la zona sur de la parroquia Calpi Cantón Riobamba

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

2.4.2. Colocación de los dispositivos de monitoreo

Los dispositivos fueron colocados en cada uno de los puntos seleccionados a una altura de 1.80 m, e instalados a una corriente eléctrica de 5 voltios. El horario de funcionamiento de los mismos correspondió a las 24 horas del día por un período de 30 días (A partir del 18 de julio a 18 de agosto del 2020).

Con relación a la distancia entre los puntos de monitoreo y el proyecto industrial se consideró tres niveles de proximidad: cercanos, distancia media y lejanos colocados los puntos seleccionados y georreferenciados en UTM zona 17S (Datum WGS 1984), etiquetados cada punto en color rojo observar figura 2-1.

Tabla 2-3: Distancia en metros lineales para cada uno de los puntos

N° de puntos	Punto de inicio Bayobug (m)	Punto medio (m)		Punto final Gatazo Grande (m)
		Chancahuan	Barrios de Calpi	
1	0			
2	400			
3		450		
4		200		
5		150		
6		180		
7			900	
8			350	
9				550
10				100

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 2-3 permite conocer la distancia a la cual fueron colocados los dispositivos de recolección de datos. En la comunidad Bayobug que se encuentra ubicada en la zona sur de la parroquia Calpi, se dio inicio al muestreo de los gases, con una distancia de 400 m. El punto medio de muestreo se encuentra en las comunidades: San José de Chancahuan, con una distancia promedio de 245 m, y Barrios de Calpi con una distancia promedio de 625 m. Mientras que el punto final se ubicó en la comunidad de Gatazo Grande con un promedio de distancia 325 m.

2.5. Técnicas de recolección de datos

2.5.1. Componentes del dispositivo de medición

Para el ensamblaje o armado de los dispositivos de medición se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

Materiales

- Cajas de plástico.
- Taípe.
- Mica.
- Cable.
- Alicata.
- Cables jumper.
- Led de alto brillo rojo y verde de 0.03 mm.

Equipos

- Arduino uno.
- Sensor MQ7.
- Sensor MQ135.
- Sensor de temperatura y humedad (DTH11).
- Sensor de hora DS323.
- Micro SD.
- Laptop.

2.5.2. Ensamblaje de dispositivos Arduino para medir de CO_x y CO_2 humedad, temperatura

A continuación, mostramos el diagrama de conexión de los dispositivos que se utilizó.

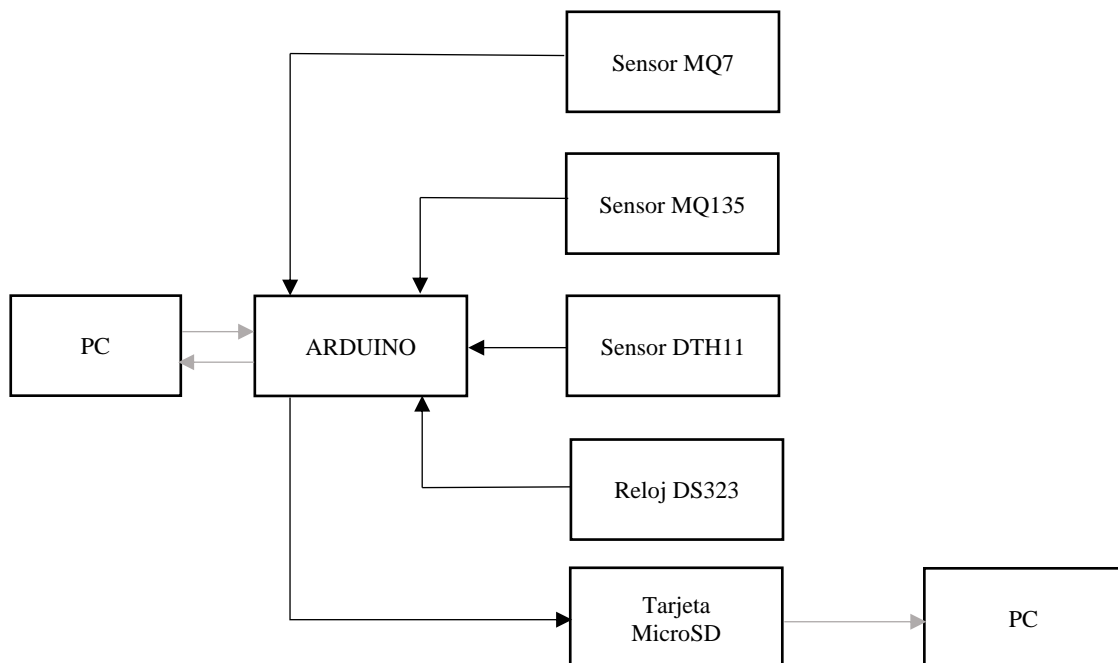


Figura 2-2: Ensamblaje de los dispositivos de medición CO_x y CO_2 humedad, temperatura

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

Las conexiones son de tipo permanente y ocasional, la conexión de tipo permanente se realizó entre la tarjeta de desarrollo Arduino Uno y los módulos MQ7 gas CO_x, MQ135 CO₂, DTH11 sensor de temperatura, humedad, Reloj DS323 sensor de fecha, hora y Tarjeta MicroSD dispositivo de almacenamiento, estas conexiones se realizaron con cables jumpers. La conexión de tipo ocasional se realiza entre la PC y la tarjeta Arduino Uno a través del cable de datos USB y también se la realizó entre la tarjeta MicroSD y la PC, para la última conexión se tuvo que desvincular la tarjeta microSD del Arduino Uno e incorporara a la PC.

Todos los módulos utilizados en la investigación se conectan en pines de E/S (Entradas y Salidas) del Arduino Uno, también se clasifican en módulos de lectura y escritura.

Módulos de lectura:

- Sensor MQ7.
- Sensor MQ135.
- Sensor DTH11.
- Reloj DS323.

Módulo de escritura.

- PC.
- Tarjeta MicroSD.

Los módulos de lectura permitieron medir el CO_x, CO₂, temperatura y humedad del ambiente, los módulos de escritura permiten grabar datos obtenidos a través de los módulos de lectura.

La programación que se utilizó para cada uno de los sensores fue el software Arduino Uno versión 1.8.13.

Para una recolección de datos se descartó ciertas horas con la finalidad de obtener una cantidad igual de información de todos los puntos, tomando en consideración un inicio y un final. Se dio mantenimiento a los dispositivos cada 8 días para evitar imprevistos a la hora de la recolección de los datos, el mantenimiento se realizó fuera de la hora programada de tal manera que no existan pérdidas de información.

2.6. Calibración de los sensores MQ7 y MQ135

2.6.1. Calibración de datos sensor MQ7

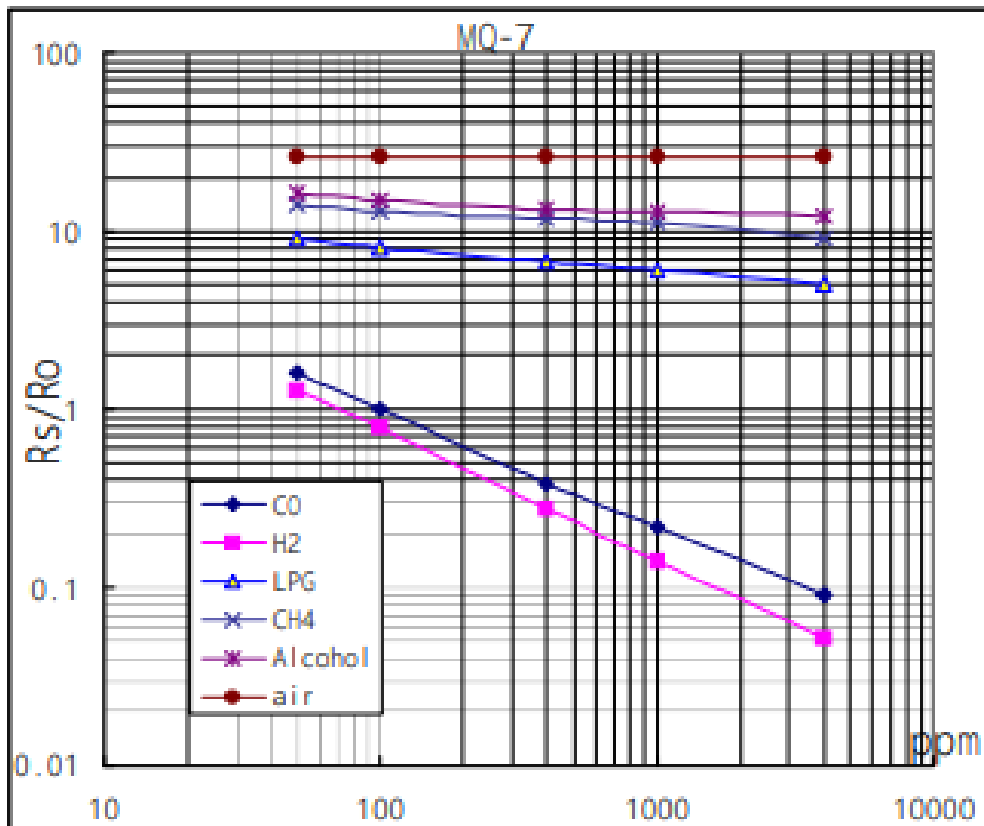


Figura 2-3: Curva de sensibilidad del sensor MQ7 gas CO

Fuente: HANWEI ELECTRONICS CO. LTDA., 2007, pp.2.

El manual del gas MQ7 refiere las instrucciones para el funcionamiento, sus características y rangos de medición del contaminante, aspectos que permiten conocer los datos de calibración, función y su comportamiento a la hora de tomar datos.

La calibración de los sensores MQ7 tiene un rango de detección de CO de 10-200 ppm, una vez expuesta a precalentamiento de los sensores MQ7. En la hoja de datos de los sensores, se puede identificar que el comportamiento de estos no es lineal (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd 2014, pp. 3-4)

La figura 2-3 refiere la sensibilidad del sensor MQ7 para diferentes compuestos gaseosos, estos son utilizados para convertir estos datos en valores de ppm, mediante la página web "WebPlotDigitize", que permite obtener los datos numéricos de la sensibilidad y el comportamiento de los sensores a la hora de la toma de datos, de modo que se obtiene la línea de tendencia entre las funciones ppm vs Rs/Ro.

Tabla 2-4: Datos de sensibilidad de CO_x sensor MQ-7

X (Rs/Ro)	Y (PPM)
1,61	48,833
1,345	59,74
1,146	78,162
1	98,224
0,784	137,446
0,605	194,932
0,516	241,695
0,448	299,677
0,375	397,394
0,326	506,151
0,289	594,729
0,261	698,808
0,241	788,655
0,227	902,096
0,21	1018,08
0,19	1228,837
0,162	1565,138
0,138	2020,447
0,122	2471,702
0,108	2943,551
0,087	4063,96

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

Tabla 2-4 muestra los valores en X de resistencia del sensor en RS/RO, el eje Y se encuentra en ppm en función de los valores rs/ro, que fueron obtenidos de la figura 2-3, cuya línea perteneciente al gas CO_x permitió graficar la curva de sensibilidad del sensor MQ-7 para su posterior calibración y medición.

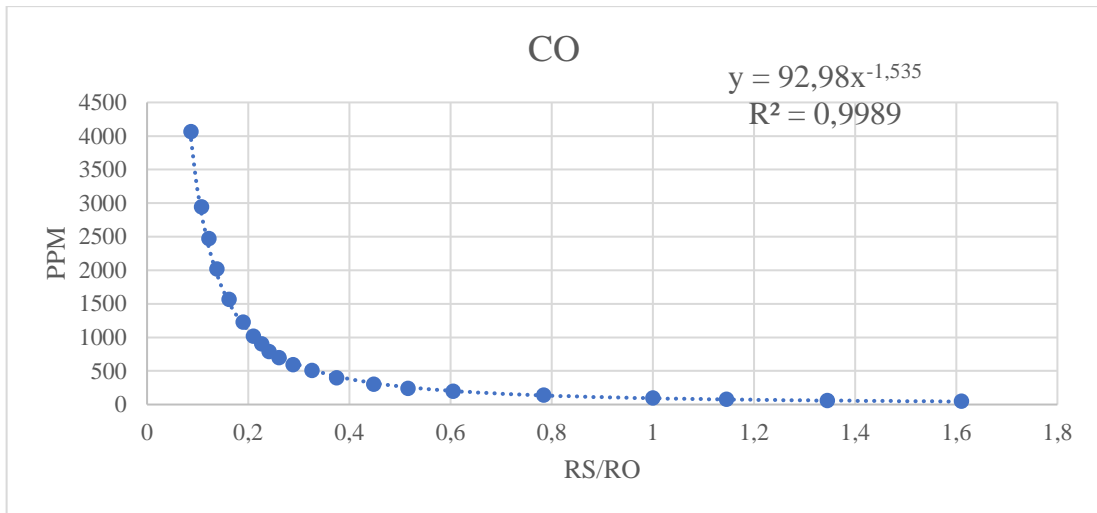


Gráfico 2-1: Curva de sensibilidad de CO_x sensor MQ-7

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

En el gráfico 2-1 se encuentran los valores de función exponencial $y = 92.98x^{-1.535}$ y el coeficiente de correlación 0.9989 con una aproximación a 1, valor que refiere una correlación positiva.

2.6.2. Calibración del sensor MQ135

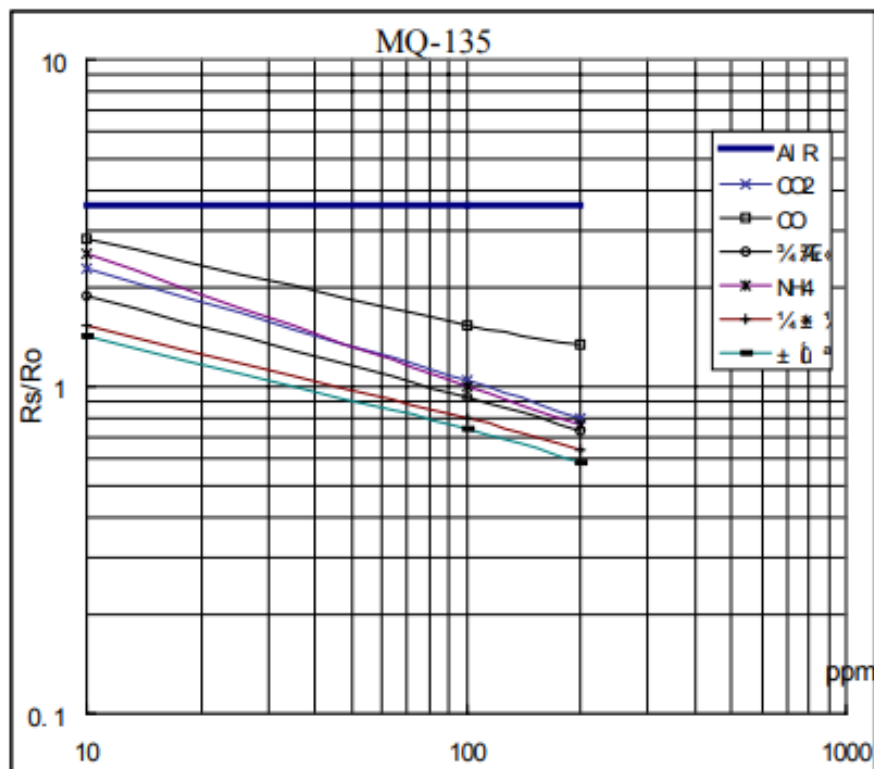


Figura 2-4: Curva de sensibilidad sensor MQ135 gas CO₂

Fuente: Olimex, 2008, pp.2.

El manual del sensor MQ135 permitió conocer los rangos de medición del contaminante, características del funcionamiento y comportamiento del sensor de CO₂ de acuerdo a la cantidad existente del gas presente en el aire.

Para la calibración del sensor MQ135, la hoja de características del sensor elaborada por el fabricante fue el punto de partida, en ella se puede verificar su comportamiento de la sensibilidad del sensor, el cual tiene un rango de detección entre 10-300 ppm de CO₂, una vez expuesta a precalentamiento de los sensores MQ135(Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. 2015b, pp. 3).

La figura 2-4 permite conocer la sensibilidad del sensor MQ135 para diferentes gases, mismos que son utilizados para convertir estos datos en valores de ppm, mediante la página web “WebPlotDigitize”, de forma que se obtuvieron los datos numéricos de la sensibilidad y el comportamiento de los sensores a la hora de adquirir los datos, para adquirir así la línea de tendencia entre la función PPM vs Rs/Ro.

Tabla 2-5: Datos de sensibilidad de CO₂ sensor MQ135

RS/RO (CO ₂)	PPM
2,287	10,177
1,988	14,851
1,798	20,235
1,693	24,657
1,562	30,563
1,486	35,066
1,413	40,233
1,358	44,986
1,304	50,302
1,278	55,291
1,24	60,772
1,18	70,329
1,122	81,388
1,078	90,224
1,035	101,756
1	112,804
0,9	147,22
0,798	200,564

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 2-5 muestra los valores en X de resistencia del sensor en RS/RO, el eje se encuentra en ppm en función de los valores rs/ro, que fueron obtenidos de la figura 3-5 línea perteneciente al gas CO₂ de tipo potencial que permitirá graficar la curva de sensibilidad del sensor MQ-135 para su posterior calibración y medición.

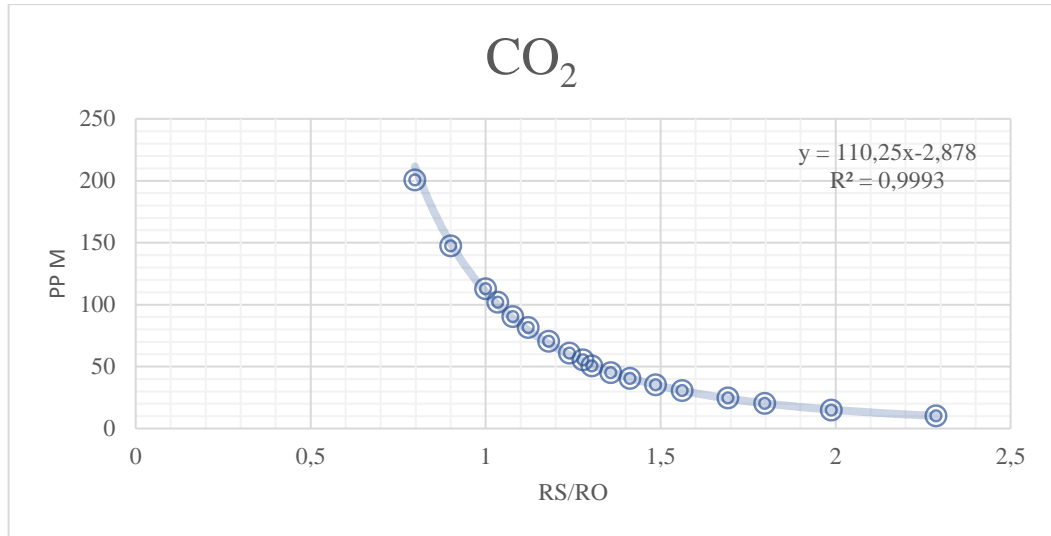


Gráfico 2-2: Curva de sensibilidad de CO₂, sensor MQ135

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

El gráfico 2-2 muestra los valores de función exponencial $y = 110.25x^{-2.878}$ y el coeficiente de correlación 0.9993 con una aproximación a 1, muestra que existe una correlación positiva. La gráfica 2-2 permitió realizar el cálculo de transformación de datos ADC a ppm o mg/m³.

Tabla 2-6: Valores de función exponencial CO_x y CO₂

COEFICIENTE	CO _x	CO ₂
A	92.98	110.25
B	-1.535	-2.878

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 2-6 muestra la función exponencial $y = a \cdot x^b$, cuyos coeficientes son obtenidos a partir de los cálculos, mínimos cuadrados o conocido como regresión, consiguiendo así los valores de a y b de cada uno de los gases medidos a la hora de muestreo.

2.7. Cálculo de R₀

R₀ = Resistencias internas del sensor a 100 ppm de gases a medir en aire limpio.

Ecuación (2-1)

$$\frac{R_s}{R_0} = a \cdot ppm^b \rightarrow \frac{\left(\frac{R_s}{R_0}\right)}{a} = ppm^b \rightarrow ppm \left(\frac{\left(\frac{R_s}{R_0}\right)}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Donde:

R_s= resistencia del sensor de datos obtenidos o resistencia de detección

R_0 = Resistencias internas del sensor a 100 ppm de gases a medir en aire limpio

y= función exponencial

a= factor de escala

b=exponente

x=concentración de ppm

ppm= partes por millón. (Gonzalo, 2020, pp. 43-44; Millán, 2016, pp. 21-24)

Donde se indica que se debe aplicar la ecuación inversa para obtener los datos de ppm, para ello se aplicará la siguiente ecuación.

Ecuación (2-2)

$$y = a \cdot x^b$$

Donde:

y= función exponencial

a= factor de escala

b=exponente

x=concentración de ppm

Donde “y” se pudo adquirir de la gráfica de datos de sensibilidad del sensor MQ7 y MQ135, utilizando la página web “WebPlotDigitizer” que permitió conocer acerca del comportamiento de los sensores a la hora de adquirir los datos a partir de una imagen del mismo sensor, para el sensor MQ7 y MQ135.

$$y = \frac{R_S}{R_0}$$

Ecuación (2-3)

$$x = ppm$$

Una vez que se obtuvieron los datos y los coeficientes de “a y b” de cada uno de los sensores, se procedió a despejar x de la ecuación inicial con el fin de adquirir los valores en ppm de los gases.

$$x = \left(\frac{y}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

Para conocer los valores $\frac{R_S}{R_0}$ de la ecuación es necesario realizar el análisis del circuito de las entradas y salidas del voltaje de la corriente.

Ecuación analógica

Ecuación (2-4)

$$V_{O,analog} = ADC * \frac{5 V}{1023}$$

Donde:

V_o = voltaje analógico de la salida

ADC= lecturas tomadas del sensor

Ecuación (2-5)

$$V_s = V_e * \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right)$$

Donde:

V_e = voltaje de entrada = 5 v

V_s = voltaje del sensor

R_L =resistencia de carga

R_s = resistencia del sensor de datos obtenidos o resistencia de detección

Dado que los sensores vienen con información clave por parte de los fabricantes, como las resistencias de carga, siendo para cada tipo de los sensores como los MQ7 y MQ135, de 10 Ω y 20 Ω respectivamente. De esta forma queda una incógnita que se debe encontrar, por lo cual se despeja. (Millán, 2016, pp. 21-24)

Ecuación de R_s

Ecuación (2-6)

$$R_s = R_L * \left(\frac{1023}{ADC} - R_L \right)$$

Donde se calcula la resistencia del sensor media de los datos obtenidos

Ecuación (2-7)

$$R_{s_media} = \frac{\sum_1^n R_s}{n}$$

Luego de obtener R_s y conocer los valores de CO y CO₂ que fueron obtenidos al momento de exponer a ambos sensores a 100 ppm de CO en aire limpio y 100 ppm de CO₂ en aire limpio, se pudo calcular el valor de R_0 (Gonzalo, 2020, pp. 43-44; Millán, 2016, pp. 21-24).

R_0 para CO_x

Ecuación (2-8)

$$R_0 = \left(\frac{R_{Smedia}}{a * (ppm CO_{actual})^b} \right)$$

R_0 para CO₂

$$R_0 = \left(\frac{R_{Smedia}}{a * (ppm CO_{2actual})^b} \right)$$

Una vez calculado R_0 se obtuvieron los datos en ppm de cada una de las mediciones realizadas.

Cálculo de ppm

Ecuación (2-9)

$$ppm = \left(\frac{\left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{\frac{1}{b}}}{a} \right)$$

A partir de los valores de ppm, las concentraciones fueron convertidas en ug/m³ en condiciones normales (1 atmósfera o 1013 mbar de presión y temperatura de 25 °C).

2.8. Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó en el programa “Minitab”, este software fue utilizado, ya que permite aplicar estadística inferencial. Para el presente proyecto se aplicó el método de ANOVA y el método de Tukey, con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos o mediciones realizadas. El nivel de confianza utilizado fue de 95%.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Implementación de dispositivos Arduino en la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba

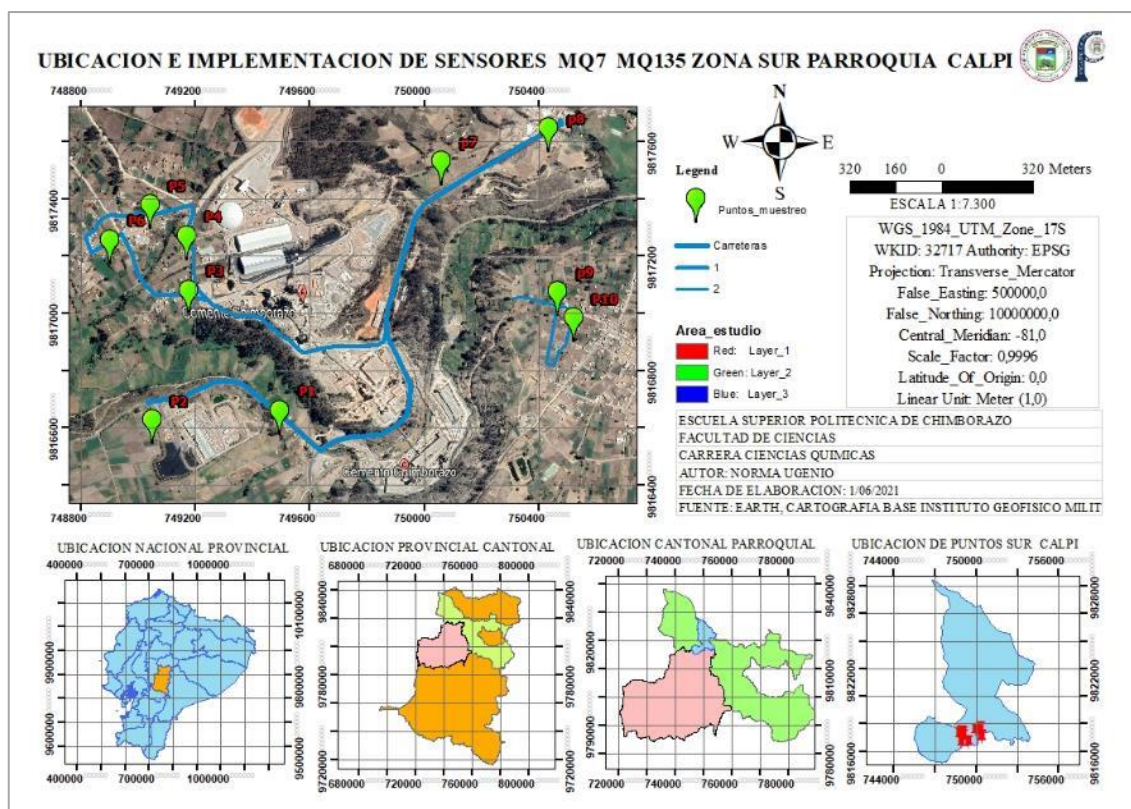


Figura 3-1: Ubicación e implementación de sensores MQ7 y MQ135

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

Figura 3-1 indica el lugar donde se instalaron los dispositivos Arduino para recolección de los siguientes datos: fecha, hora, temperatura, humedad, gases CO_x y CO_2 en cada una de los puntos de monitoreo.

Se observa que los símbolos de color verde refieren los puntos de monitoreo distribuidos aleatoriamente en el lugar de estudio; paralelamente se aprecia que los puntos P 1 y P2 se encuentra en la comunidad Bayobug, los puntos P 3, 4, 5 y 6 en Chanchahuan, P 7 y 8 se encuentran en Barrios de Calpi zona sur parroquia de Calpi, y los puntos P 9 y 10 se colocaron en la comunidad Gatazo Grande del cantón Colta. Además, las líneas de color azul representan las carreteras de acceso a cada uno de los puntos del área de estudio. Cada uno de los puntos fueron georreferencias en UTM zona 17S (Datum WGS 1984).

3.2. Variables climáticas en el lugar de estudio: temperatura, humedad y dirección del viento

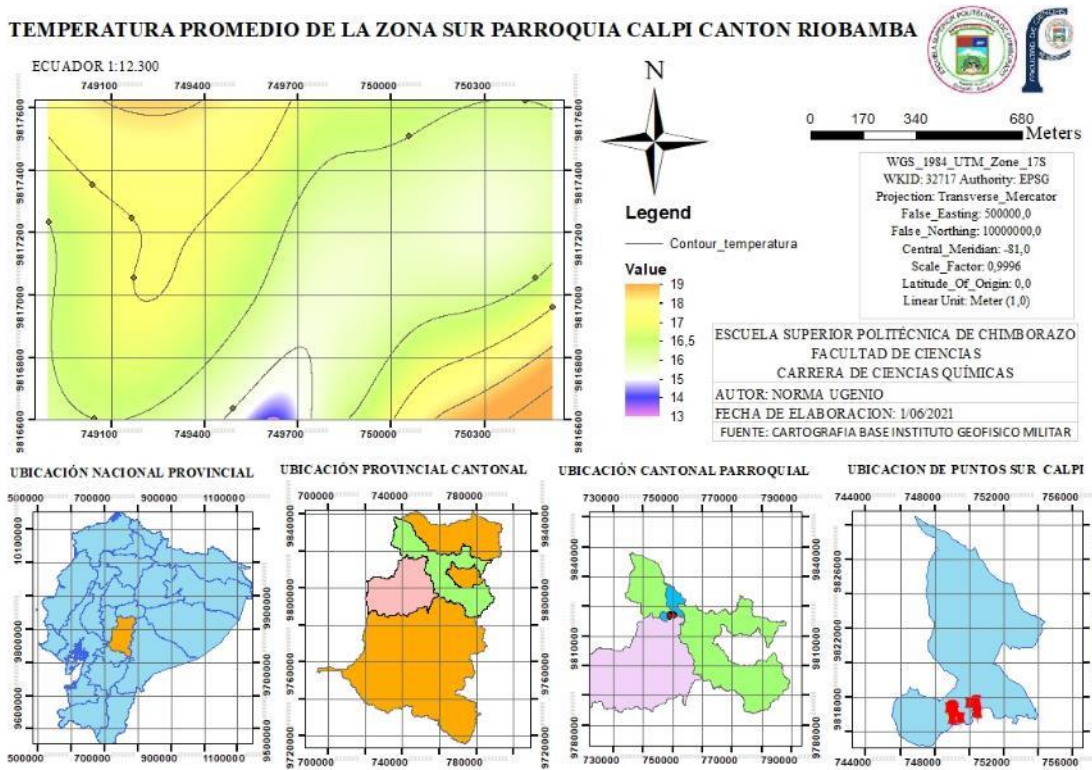


Figura 3-2: Temperatura promedio de la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La Figura 3-2 indica la temperatura en °C. El valor mínimo promedio de 13 °C está representado con color rosado, valor medio se encuentra en color verde con 16° -16,5 °C y el valor máximo de 19°C con color naranja estos valores son tomados por el dispositivo Arduino específicamente por el sensor DTH11 de temperatura y humedad donde se puede observar que la diferencia es mínima o casi nula con las temperaturas representadas en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de parroquia Calpi. Conforme al GAD Calpi (2015, pp. 12), el clima de la parroquia es frío como consecuencia de su altitud (2500 -3000 msnm), oscilando su temperatura entre los 5 y 17 °C.

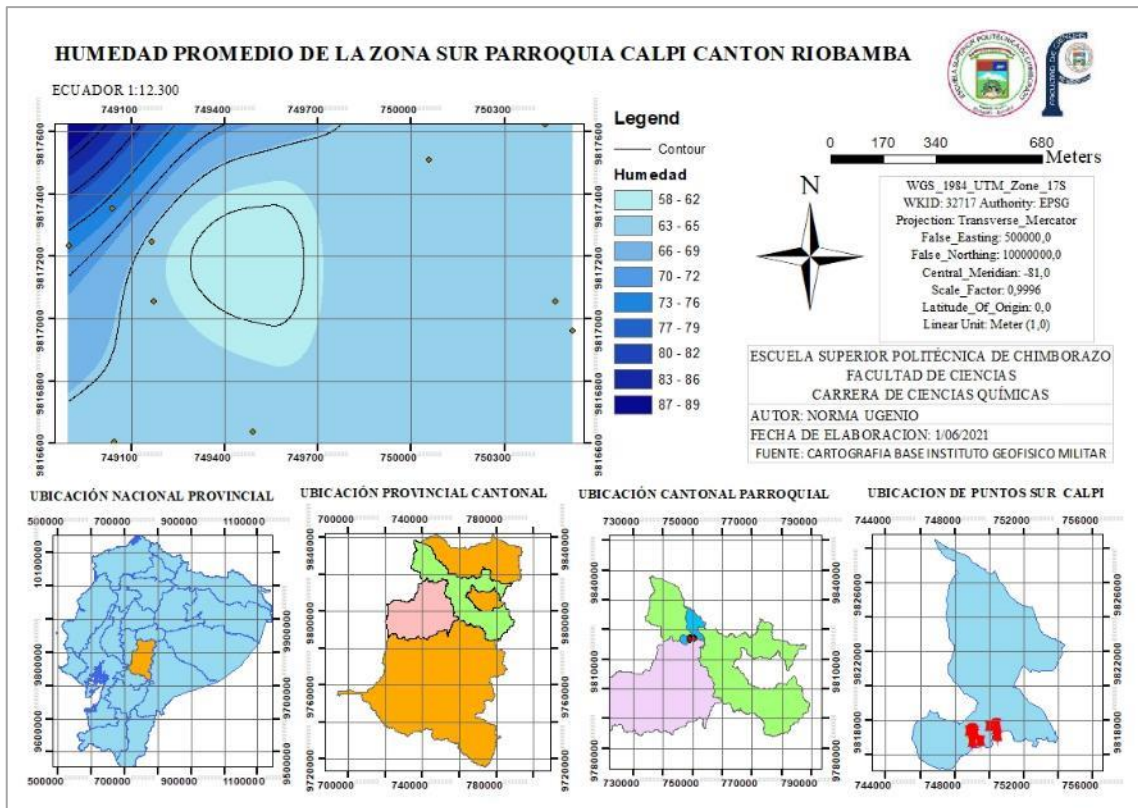


Figura 3-3: Porcentaje de Humedad promedio de la zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba
Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La figura 3-3 indica la humedad porcentual, teniéndose un valor mínimo de 58-62 %/mes en las áreas de coloración celeste y un valor máximo de 87-89 %/mes de humedad en áreas de tono azul intenso. Comparado con los datos de obtenidos de humedad de la parroquia Calpi tiene una similitud en los porcentajes correspondiente al 68% de humedad los puntos en color verde índica la ubicación de los puntos de muestreo así demostrando la existencia en nivel de precipitación existe en la parroquia de Calpi cantón Riobamba (GAD Calpi, 2015, pp.12).

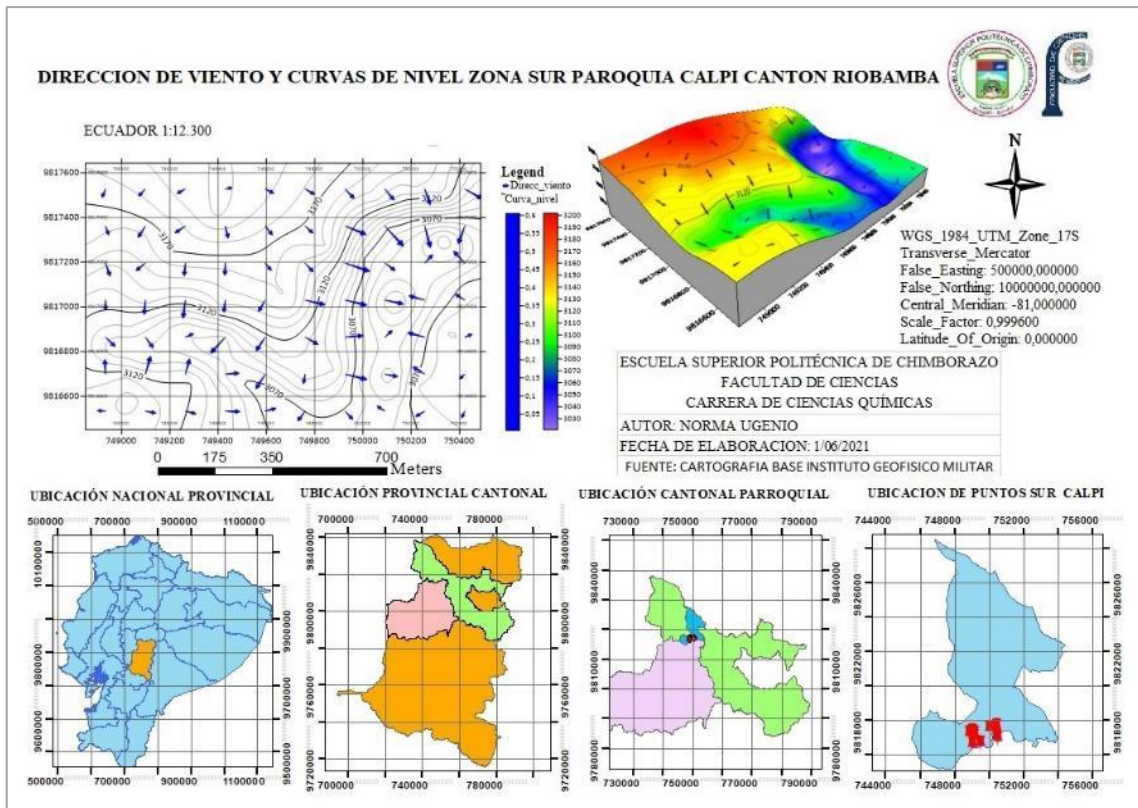


Figura 3-4: Dirección de viento y curvas de nivel zona sur parroquia Calpi cantón Riobamba
 Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La figura 3-4 indica la dirección del viento y las curvas nivel. La parroquia de Calpi se encuentra a una altura de 3400 msnm mientras la zona de estudio se encuentra a una altitud altura mínima fue de 3030 msnm y la máxima de 3200 msnm, el mapa muestra las líneas de contorno es una curva constante que representa valores en XY de manera constante donde se unen a valores iguales en altitud o elevación en color negro oscuro manifestando la existencia de laderas valles y colinas en el sector donde se puede observar la altitud de elevación en diferentes líneas de contorno del área de estudio por otra parte, las flechas de color azul indica la velocidad en torno a los 0.05 y 0.6 m/s en dirección suroeste del recorrido a una velocidad baja, como también indica la dirección del flujo de la parte más alta a baja en temporada de altas precipitaciones de acuerdo a temporadas estacionarias climatológicas ambientales, realizadas en el programa ArcGIS y georreferenciada UTM zona 17 S (Datum WGS 1984) (GAD Calpi, 2015, pp. 36-37).

3.3. Recolección de datos, fecha, hora, humedad, temperatura, CO_x y CO₂

Tabla 3-1: Promedio diario de datos obtenidos mediante dispositivos Arduino

Fecha	Hora	Humedad (%)	Temperatura (°C)	CO _x (ADS)	CO ₂ (ADS)
18/07/2020	23:00:18	59	18,4	117	82
19/07/2020	23:0:18	65	17,0	86	67
20/07/2020	23:00:18	70	15,1	87	73
21/07/2020	23:00:18	66	15,1	62	42
22/07/2020	23:00:18	69	15,1	63	49
23/07/2020	23:00:18	66	15,9	63	45
24/07/2020	23:00:18	69	15,5	67	47
25/07/2020	23:00:18	66	15,6	66	47
26/07/2020	23:00:18	66	15,5	68	48
27/07/2020	23:00:18	67	15,4	65	48
28/07/2020	23:00:18	69	15,1	55	48
29/07/2020	23:00:18	63	16,2	69	49
30/07/2020	23:00:18	64	15,6	61	54
31/07/2020	23:00:18	66	15,9	70	56
01/08/2020	23:00:18	64	15,8	73	61
02/08/2020	23:00:18	66	15,5	66	54
03/08/2020	23:00:18	68	14,4	63	46
04/08/2020	23:00:18	68	14,3	60	45
05/08/2020	23:00:18	64	14,5	62	49
06/08/2020	23:00:18	65	13,6	62	53
07/08/2020	23:00:18	65	14,1	66	59
08/08/2020	23:00:18	63	15,0	70	61
09/08/2020	23:00:18	66	13,7	68	60
10/08/2020	23:00:18	63	16,0	71	62
11/08/2020	23:00:18	66	15,0	76	64
12/08/2020	23:00:18	63	15,3	68	62
13/08/2020	23:00:18	63	15,8	59	62
14/08/2020	23:00:18	64	14,9	61	60
15/08/2020	23:00:18	61	15,9	63	61
16/08/2020	23:00:18	63	17,0	65	63
17/08/2020	23:00:18	62	16,7	65	63
18/08/2020	23:00:18	66	15,5	64	62

Nota: ADC es corriente analógico se encuentra en ohmios

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-1 contiene promedio de datos recolectados las 24 horas del día por un periodo de 30 días correspondiente al monitoreo realizado a partir de 18 de julio del 2020 al 18 de agosto del

2020, mediante los sensores DS323 de fecha y hora, DHT11 humedad %, temperatura °C, MQ7 sensor de CO_x y sensor MQ135 CO₂.

Los datos recolectados de humedad promedio diarios presentan valores máximos en la fecha del 20/07/2020 con 70% de humedad y un promedio más baja el día 18/07/2020 del 59% de humedad, también existen humedades similares que se repiten los días 20,24,28/07/2020 con humedad del 69% y los días 22,25,26,31/07/2020 y 02,10,12,18/08/2020 con 66% de humedad acorde al GAD Calpi (2015, pp. 12).

La temperatura más alta se encuentra en la fecha 18/07/2020 con 18.4 °C y una baja de 13.6 °C el 06/08/2020 mientras las temperaturas que se repiten en fechas 20,21,22,28/07/2020 con 15.1 °C, 24,26/07/2020 y 03/08/2020 con 15.5 °C acorde al GAD Calpi (2015, pp.12).

Los datos de información recolectadas del CO_x en señales analógicas a digitales (ADS) más alta se encuentra en fecha 18/07/2020 con 117(ADS), la más baja el 28/07/2020 con 55 (ADS), los datos similares se encuentran en fechas, 22,23/07/2020 y 03,16/08/2020 con 63(ADS), 27/07/2020 y 09,12/08/2020 con 68(ADS) los datos recolectados mediante el sensor MQ-7 para gas CO_x se encuentran dentro de los parámetros implementados en el manual de calibración y sensibilidad de detección del contaminante se puede observar en la figura 2-3 (HANWEI ELECTRONICS CO. LTDA., 2007, pp. 2).

La información de CO₂ recolectadas en señales analógicas a digitales (ADS) presenta los datos más altos en la fecha 18/07/2020 con un valor de 82(ADS) y una baja en 21/07/2020 con 42 (ADS), los datos se repiten en mayor frecuencia en los días 10,12,13,18/08/2020 con 62 (ADS). Los datos recolectados mediante el sensor MQ135 para gas CO₂ se encuentran dentro de los parámetros implementados en el manual de calibración y sensibilidad de detección del contaminante se puede observar en la figura 2-4 (Olimex, 2008, pp. 2).

Tabla 3-2: Promedio de datos diarios convertidos a ug/m³ de CO_x y ppm en CO₂

Fecha	Hora	Humedad (%)	Temperatura (°C)	ug/m ³ CO _x	PPM (CO ₂)
18/07/2020	23:00:18	59	18,4	742,444	20,460
19/07/2020	23:0:18	65	17,0	696,990	19,418
20/07/2020	23:00:18	70	15,1	620,226	20,391
21/07/2020	23:00:18	66	15,1	690,993	20,330
22/07/2020	23:00:18	69	15,1	652,882	19,671
23/07/2020	23:00:18	66	15,9	656,622	18,783
24/07/2020	23:00:18	69	15,5	692,883	19,102
25/07/2020	23:00:18	66	15,6	692,141	19,173
26/07/2020	23:00:18	66	15,5	708,998	19,379
27/07/2020	23:00:18	67	15,4	686,180	19,370
28/07/2020	23:00:18	69	15,1	646,576	19,344
29/07/2020	23:00:18	63	16,2	676,301	19,410

30/07/2020	23:00:18	64	15,6	657,654	20,284
31/07/2020	23:00:18	66	15,9	709,192	19,655
01/08/2020	23:00:18	64	15,8	728,460	19,990
02/08/2020	23:00:18	66	15,5	685,206	19,688
03/08/2020	23:00:18	68	14,4	667,750	18,701
04/08/2020	23:00:18	68	14,3	673,567	18,612
05/08/2020	23:00:18	64	14,5	671,602	19,109
06/08/2020	23:00:18	65	13,6	671,889	19,807
07/08/2020	23:00:18	65	14,1	706,774	20,747
08/08/2020	23:00:18	63	15,0	750,318	21,038
09/08/2020	23:00:18	66	13,7	749,197	20,750
10/08/2020	23:00:18	63	16,0	762,790	21,121
11/08/2020	23:00:18	66	15,0	800,667	21,380
12/08/2020	23:00:18	63	15,3	764,450	21,057
13/08/2020	23:00:18	63	15,8	659,999	21,007
14/08/2020	23:00:18	64	14,9	624,278	20,893
15/08/2020	23:00:18	61	15,9	625,115	21,007
16/08/2020	23:00:18	63	17,0	639,205	21,239
17/08/2020	23:00:18	62	16,7	637,498	21,285
18/08/2020	23:00:18	66	15,5	626,465	21,258

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-2 indica los datos promedios diarios calibrados y convertidos a $\text{ug}/\text{m}^3\text{CO}_x$ y ppm CO_2 utilizando las ecuaciones presentadas en capítulo 3, a partir de los datos recolectados del sensor MQ7 gas CO_x ug/m^3 , MQ135 CO_2 ppm, Además los parámetros climáticos se encuentran en concordancia con los valores obtenidos a partir del análisis cartográfico.

Los datos promedios diarios de humedad % y temperatura °C se encuentran detalladas en la tabla 3-1

Los datos de información recolectadas del CO_x ug/m^3 presenta los datos más alta se encuentra en fecha 11/08/2020 con 800,667 ug/m^3 la más baja el 20/07/2020 con 620,226 ug/m^3 , los datos similares se encuentran en fechas 05,06/08/2020 con 671,602 ug/m^3 , 24,25/07/2020 con 692,883 ug/m^3 , se encuentran dentro de los límites permisibles donde se puede observar en la tabla 1-2, Acuerdo Ministerial 097-A (Tapia Núñez, 2015, pp. 56).

La información de ppm CO_2 recolectado presenta los datos más altos en la fecha 17/08/2020 con un valor de 21,285 ppm y una baja en 04/08/2020 con 18,612 ppm, los datos se repiten en mayor frecuencia en los días 08,12,13,15/08/2020 con 21,007ppm los valores promedios diarios obtenidos en la zona de estudio, se encuentran dentro de los límites permisibles según la guía del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo o INSSST lo cual se puede observar en la tabla 1-3 (CO_2 Earth, 2021, párr. 1-3; INSTH, 2019, pp. 67) .

3.4. Análisis estadístico ANOVA y método de Tukey

El análisis estadístico permitió comparar las muestras en cada uno de los puntos y ver si existen diferencias significativas entre dos o más puntos muestreados, o caso contrario, identificar si existe alguna igualdad entre los puntos comparados. El factor a analizar es el CO y los niveles son nuestros puntos de muestreo.

3.4.1. Análisis de varianza de un solo factor para las emisiones de CO_x ug/m^3

Para realizar el análisis estadista ANOVA se plantea las siguientes hipótesis, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

Hipótesis nula: todas las medias son iguales

Hipótesis alternativa: no todas las medias son iguales

Tabla 3-3: Análisis de varianza (ANOVA) para CO_x ug/m^3

Fuente	GL (grados libertad)	SC (suma de cuadrados)	MC (cuadrados medios)	Valor F		Valor p
Factor	9	222916455	24768495	622.84		0.000
Error	7190	285924056	39767			
Total	7199	508840511				

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

En el análisis de varianza nos ayuda a tomar decisiones de los puntos de estudio, de las hipótesis planteados.

Toma de decisión: el valor p es de 0.00, es menor al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, por lo que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, dando a entender que al menos una de las concentraciones de CO_x ug/m^3 , existen diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de CO_x ug/m^3 como se muestra en la tabla 4-3 análisis de varianza ANOVA.

Tabla 3-4: Resumen del ANOVA

S(desv.est.muest)	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (predicción)
199.416	83.81%	83.74%	83.65%

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-4 nos indica una desviación estándar muestral de $S=199.416$, el valor se encuentra por debajo de los valores de las medias de los puntos de muestreo lo que indica que existe poca variabilidad entre los puntos de muestreo. El R^2 ajustado de 83.81% y R^2 predicción es 83.65%,

los valores se aproximan al 100% lo que indica que existe una buena confiabilidad del modelo a la hora de realizar las predicciones de estudio.

Tabla 3-5: Medias desviación estándar e intervalos de confianza

Factor	N(número muestras)	Media	Desviación Estándar	IC de 95% (intervalo confianza)
P7	720	997.94	221.8	(983.37; 1012.51)
P1	720	951.5	298.7	(936.9; 966.0)
P10	720	702.04	171.77	(687.47; 716.61)
P2	720	678.29	263.75	(663.72; 692.85)
P8	720	675.64	263.42	(661.08; 690.21)
P9	720	604.4	268.2	(589.8; 618.9)
P6	720	549.89	78.39	(535.32; 564.46)
P5	720	548.76	77.9	(534.19; 563.33)
P4	720	460.02	58.51	(445.45; 474.59)
P3	720	458.52	56.38	(443.95; 473.08)

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-5 muestra las medias de cada uno de los puntos muestreados en la zona de estudio, se registra un valor mínimo en el punto P3, con 720 muestras recolectadas de CO, una media de 458.52 y desviación estándar 56.38, el punto medio es P8 con una media de 675,64, desviación estándar 268,2), y el P9 con media de 604,4, desviación estándar 78.39, intervalo de confianza (589,8; 618,9), y la media más alta se encuentra en el punto P7 con media de 997.97 y con una desviación estándar de 221.80. Se puede observar diferencias significativas entre los puntos de muestreo que fueron recolectados en la fecha de inicio 18 de julio hasta la fecha de finalización de 18 de agosto del 2020 en la zona sur de la parroquia de Calpi.

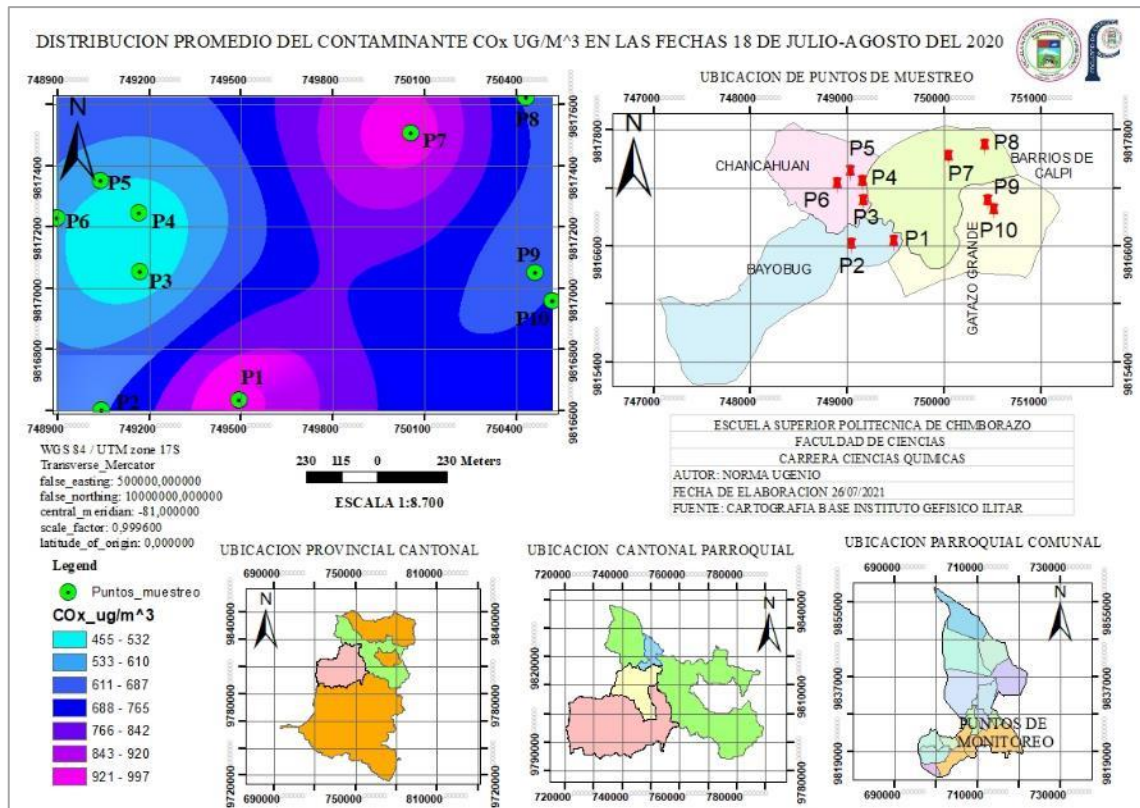


Figura 3-5: Distribución promedio del contaminante CO_x ug/m³ del mes 18 julio-agosto del 2020

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La figura 3-5 indica los datos de CO_x ug/m³ promedios mensuales de los puntos muestreados, las 24 horas del día por un periodo de 30 días correspondiente al monitoreo realizado a partir de 18 de julio del 2020 al 18 de agosto del 2020, mediante el sensor MQ-7 gas CO_x.

Los puntos seleccionados para el estudio se encuentran etiquetados en color rojo que indica la ubicación donde se colocaron los dispositivos Arduino para la recolección de información de los datos durante el periodo de muestreo en las comunidades, barrios, el color verde indica los puntos de contaminación existente de CO_x en el área de estudio y en escala de colores donde muestra el nivel de la contaminación existente en los puntos muestreados y georreferenciada en UTM zona 17S (Datum WGS 1984) realizada a una escala 1:8.700. Los puntos P1 y P2 se encuentran en la comunidad de Bayobug, P2, P4, P5, P6 Chanchahuan, P7, P8 a los barrios pertenecientes a la zona sur de la parroquia Calpi - cantón Riobamba y P9, P10 Gatazo Grande perteneciente a la parroquia Villa la Unión - cantón Colta como se observa en la figura 3-5.

Las concentraciones de CO_x ug/m³ muestra en una escala de menor a mayor concentración de contaminante, con un valor mínimo de 455-532 ug/m³CO_x color celeste que demuestra el nivel más bajo de emisión en los puntos P3 y P4 ubicados en la comunidad de Chanchahuan, el valor medio se encuentra en la comunidad de Bayobug en un rango de concentración 688-765 ug/m³CO_x en color azul y las concentraciones de emisión máxima se encuentran en P1

comunidad de Bayobug, P7 Barrios de Calpi en un rango de 921-977 $\text{ug}/\text{m}^3 \text{CO}_x$ en color rosado que indica el nivel más alto de contención existente en el aire, La emisión presentada de $\text{CO}_x \text{ug}/\text{m}^3$ de los contaminantes muestreados en la zona de estudio se encuentra dentro de los límites permisibles detallados en el Acuerdo Ministerial 097, Anexo 4: “Calidad del aire ambiente” (Tapia Núñez, 2015, pp. 56)

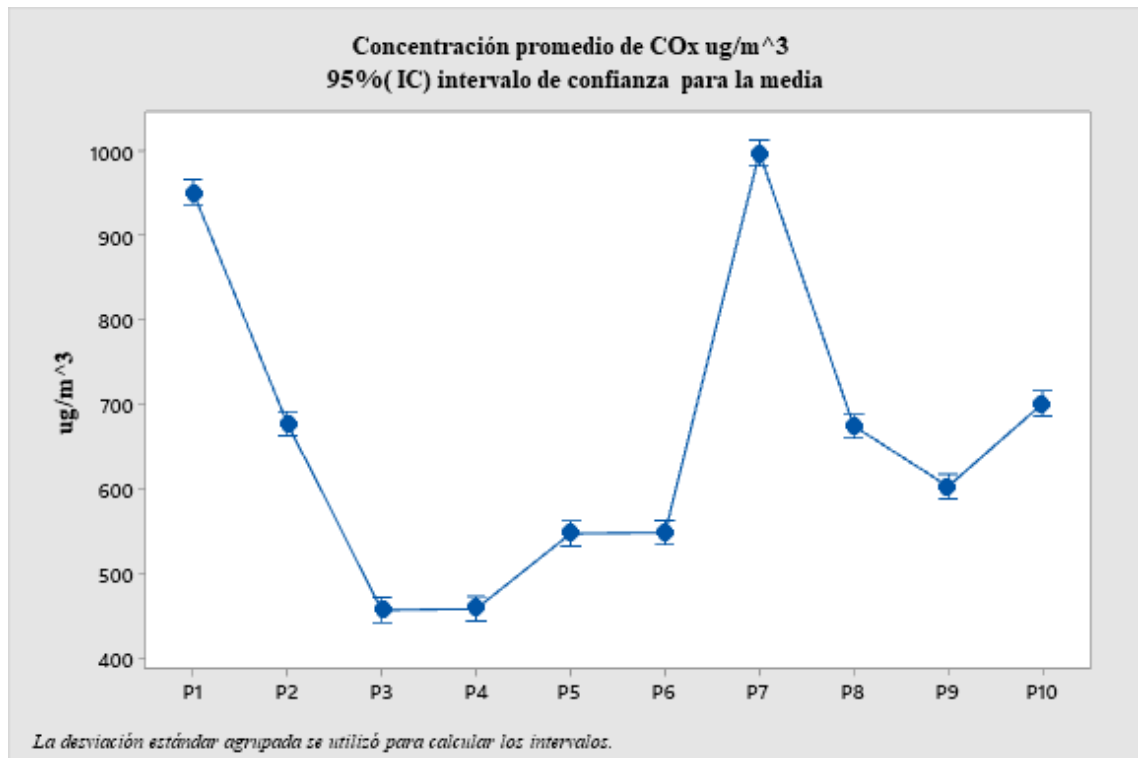


Gráfico 3-1: Concentración promedio de $\text{CO}_x \text{ug}/\text{m}^3$

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

En el gráfico 3-1 se puede observar que la concentración del CO_x tiene un valor mínimo de emisión en el punto P3 con $458.52 \text{ug}/\text{m}^3$. Además, se puede observar que existen valores de emisión que van en aumento, como en el punto P1 con un valor con $951.5 \text{ug}/\text{m}^3$, seguido del punto 7 con un valor máximo de emisión de $997.97 \text{ug}/\text{m}^3$. Si estos valores son comparados con el Acuerdo Ministerial 097-A (Tapia Núñez, 2015, pp. 56), se aprecia que hallan en una escala deseable, sin embargo los valores podrían variar debido a que todas las actividades de producción industrial o medianas empresas se encuentran trabajando con una capacidad del 30% de la operación total, medida impuesta por el gobierno a causa de la pandemia Covid-19.

3.4.2. Comparaciones en parejas de Tukey

Tabla 3-6: Información utilizando el método de Tukey con una confianza de 95%- CO_x

Puntos muestreo	N (numero)	Media	Agrupación						
P7	720	997,94	A						
P1	720	951,5		B					
P10	720	702,04			C				
P2	720	678,29			C				
P8	720	675,64			C				
P9	720	604,4				D			
P6	720	549,89					E		
P5	720	548,76					E		
P4	720	460,02							F
P3	720	458,52							F

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-6 muestra los puntos de muestreo, medias y una columna de agrupación que son asignadas en números alfabéticos a cada una de las medias, si una o más de letras coinciden indica que los valores son similares y son significativamente iguales, por lo contrario, si uno de las letras no coinciden nos indica que son significativamente diferentes

Las agrupaciones realizadas en Minitab refieren que existen puntos que no se traslapan o no coinciden las letras y medias, siendo éstos: P7-A con 997,94, P1-B con 951CO_x ug/m³, y punto P9-D con 604,4CO_x ug/m³, por tanto son significativamente diferentes; Los puntos que comparten las letras alfabéticas como el P10-C con 702,04 CO_x ug/m³, P2-C con 678,29 CO_x ug/m³, P8-C con 675,64 CO_x ug/m³, como P6-E con 549,89 CO_x ug/m³, P5-E con 548,76 CO_x ug/m³, y P4-F con 460,02 CO_x ug/m³, P3-F con 458,52CO_x ug/m³, son significativamente iguales.

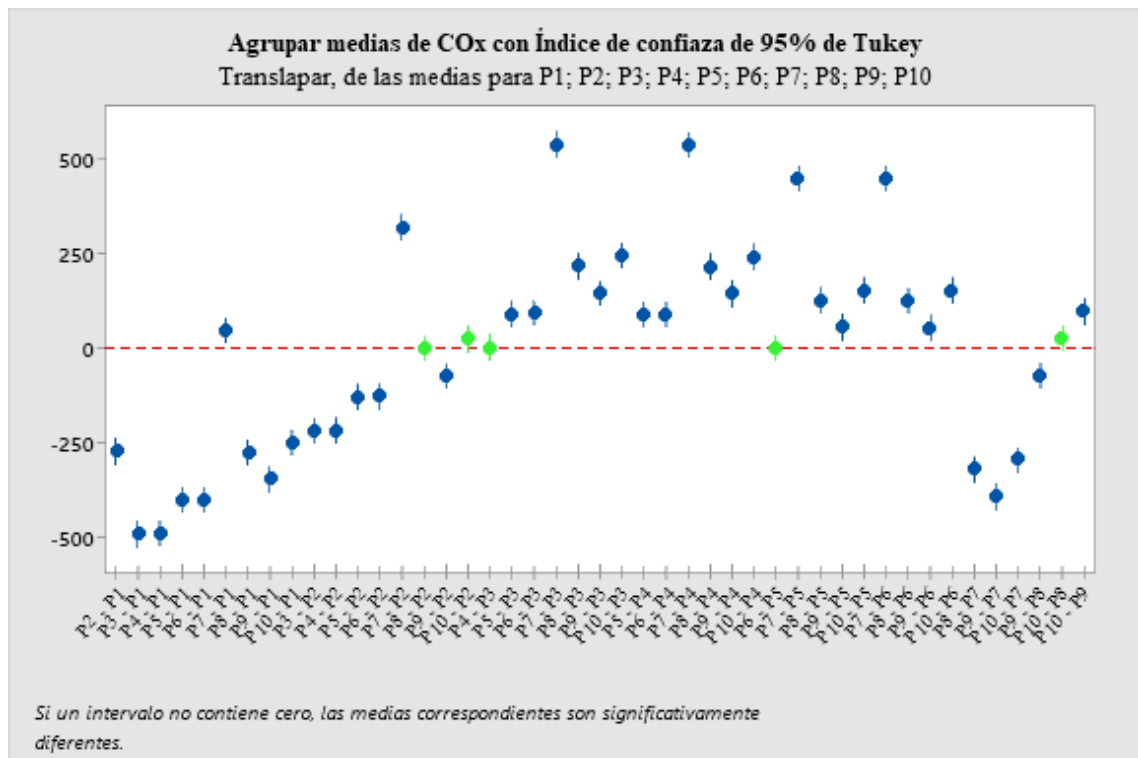


Gráfico 3-2: Medias agrupadas de CO_x ug/m³ e intervalo de confianza

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

En el gráfico 3-2 se puede observar los puntos de color verde que se traslapan la línea cero de color rojo, las cuales son significativamente iguales; mientras que los puntos de color azul son significativamente diferentes. Las similitudes son apreciables en los puntos P8-P2 con una confianza de 95% una estimación de -2.641 y un intervalo de (-35.861; 30.578), P10-P2 con una confianza de 95% una estimación de 23.757 y un intervalo de (-9.462; 56.957), P4-P3 con una confianza de 95% una estimación de 1.502 y un intervalo de (-31.717; 34.722), P6-P5 con una confianza de 95% una estimación de 1.128 y un intervalo de (-32.091; 34.348) y el P10-P8 con una confianza de 95% una estimación de 26.399 y un intervalo de (-6.821; 59.619) son los datos que tienen una igualdad de distribución de los gases contaminantes de CO_x ug/m³ muestreados en la zona de estudio

3.4.3. Análisis de varianza de un solo factor para las emisiones de CO₂ ppm

Para realizar el análisis estadista ANOVA se plantea las siguientes hipótesis, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$

Hipótesis nula: todas las medias son iguales

Hipótesis alternativa: no todas las medias son iguales

Tabla 3-7: Análisis de Varianza de CO₂ ppm.

Fuente	GL (grados libertad)	SC (suma de cuadrados)	MC (cuadrados medios)	Valor F	Valor p
Factor	9	166372	18485,8	2135,24	0,000
Error	7190	62247	8,7		
Total	7199	228620			

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-7 ayuda a tomar la decisión del análisis estadístico Anova, se tiene que el valor p es de 0.00, menor al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, dando a entender que al menos una de las concentraciones de CO₂ ug/m³ es significativamente diferente.

Tabla 3-8: Resumen del modelo

S (desv. est.muest)	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (predicción)
2.94236	72.77%	72.74%	72.70%

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-8 con una desviación estándar muestral de S=2.94236, el valor se encuentra bajo de los valores de las medias de los puntos de muestreo, lo que indica que existe poca variabilidad entre los puntos de muestreo. El R^2 ajustado de 72.74% y R^2 predicción es 72.70%, los valores se aproximan al 100% indica que existe una buena confiabilidad del modelo a la hora de realizar las predicciones de estudio.

Tabla 3-9: Medias, desviación estándar e intervalo de confianza

Factor	Media	Desv.Est.	IC de 95%
P2	24.732	3.787	(24.517; 24.947)
P8	24.686	3.797	(24.471; 24.901)
P9	23.905	3.775	(23.690; 24.120)
P1	21.624	2.0346	(21.4091; 21.8390)
P4	21.4828	1.786	(21.2679; 21.6978)
P3	21.4222	1.7595	(21.2073; 21.6372)
P7	20.9776	1.7875	(20.7626; 21.1926)
P10	20.067	5.33	(19.852; 20.282)
P6	10.973	0.8834	(10.7580; 11.1879)
P5	10.9323	0.8689	(10.7173; 11.1472)

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-9 indica las medias de cada uno de los puntos muestreados en la zona de estudio, se tiene un valor mínimo en el punto P5, con 720 muestras recolectadas de CO₂, una media de

10.9323 ppm y desviación estándar 0.8689, el punto medio es P4 con una media de 21.4828 ppm y desviación estándar 1.786, y el P3 con media de 21.4222 ppm y desviación estándar 1.7595, por otra parte, la media más alta se encuentra en el punto P2 con media de 24.732 ppm con una desviación estándar de 3.787. Se puede observar diferencias significativas entre los puntos de muestreo que fueron recolectados en la fecha de inicio 18 julio hasta la fecha de finalización de 18 de agosto del 2020 en la zona sur de la parroquia de Calpi.

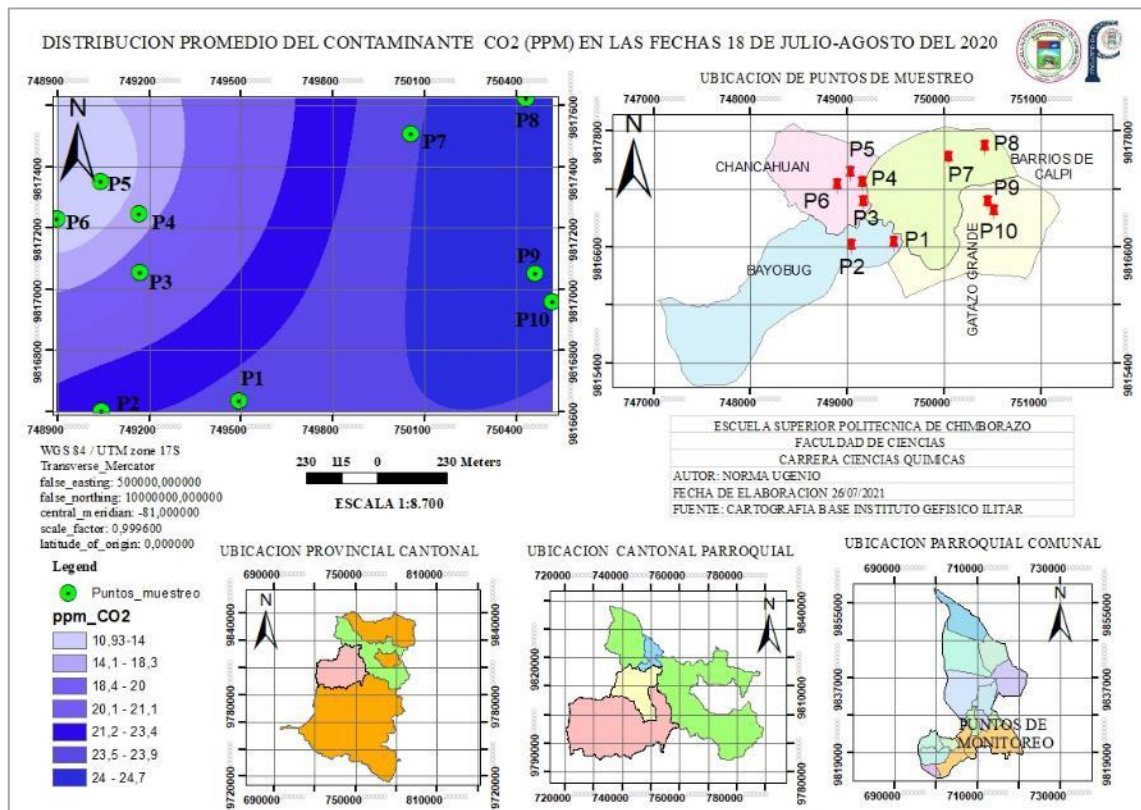


Figura 3-6: Distribución promedio del contaminante CO₂ ppm del mes 18 julio-agosto del 2020
Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La figura 3-6 indica los datos de CO₂ ppm promedios mensuales de los puntos muestreados, las 24 horas del día por un periodo de 30 días correspondiente al monitoreo realizado a partir de 18 de julio del 2020 al 18 de agosto del 2020, mediante el sensor MQ-135 gas CO₂.

Los puntos seleccionados para el estudio se encuentran etiquetados en color rojo que indica la ubicación donde se colocaron los dispositivos Arduino para la recolección de información de los datos durante el periodo de muestreo de la información en las comunidades, barrios, el color verde indica los puntos de contaminación existente de CO_x en el área de estudio y en escala de colores donde muestra el nivel de la contaminación existente en los puntos muestreados y georreferenciada en UTM zona 17s (Datum WGS 1984), realizada a una escala 1:8.700. Los puntos P1 y P2 se encuentran en la comunidad de Bayobug, P2, P4, P5, P6 Chanchahuan, P7, P8 a los barrios pertenecientes a la zona sur de la parroquia Calpi - cantón Riobamba y P9, P10 Gatazo

Grande pertenece a la parroquia villa la Unión - cantón Colta provincia de Chimborazo (GAD Calpi, 2015. pp. 49).

Las concentraciones de CO₂ ppm muestra en una escala de menor a mayor concentración del contaminante, con un valor mínimo de 10,93-14 CO₂ ppm en los puntos P5 y P6 ubicados en la comunidad de Chanchahuan en la escala de color azul claro en nivel bajo de contaminación, el valor medio se encuentra en P1 la comunidad de Bayobug y punto P7 Barrios de Calpi en un rango de concentración de emisión de 20,1-21,1 CO₂ ppm en color medio, seguidas de los puntos P9, P10 se encuentran en la comunidad de Gatazo Grande en un rango de concentración de emisión de 23,5-23,9 CO₂ ppm y las concentraciones de emisión máxima se encuentran en P2 comunidad de Bayobug, P8 Barrios de Calpi en un rango de 24-24,7 CO₂ ppm en color azul fuerte muestra la contaminación más alta recolectadas en estos puntos, La emisión presentadas de CO₂ ppm de los datos adquiridos en la zona de estudio se encuentra dentro de los límites permisibles detalladas en la guía del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo o INSST.

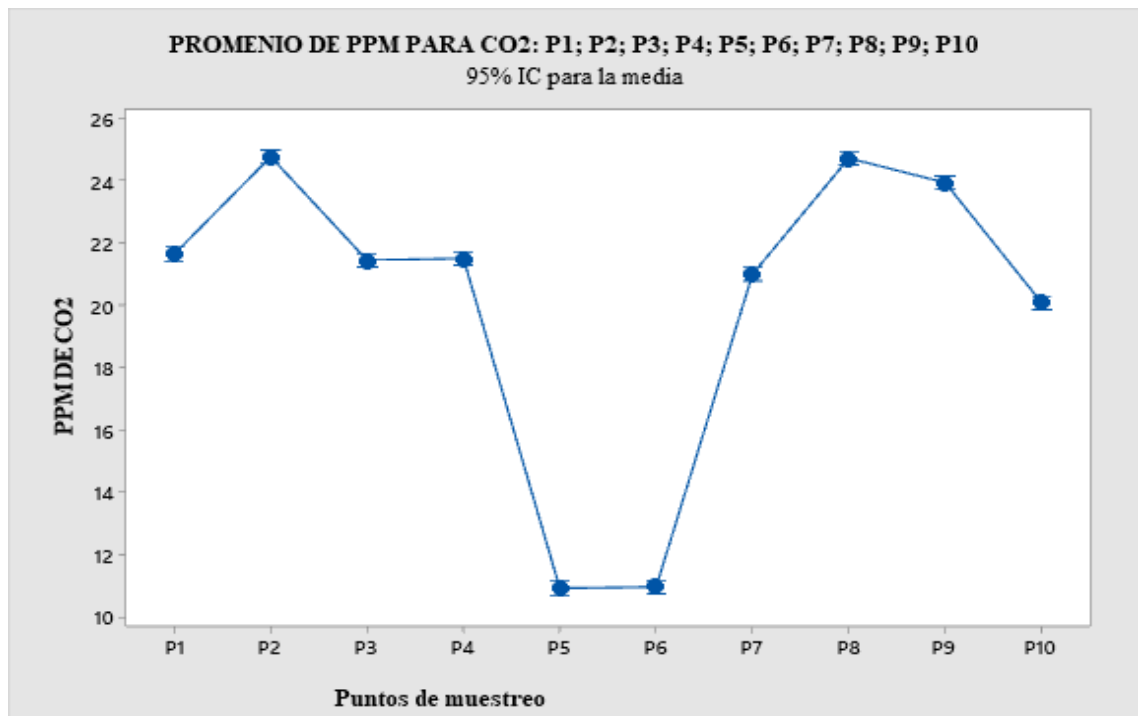


Gráfico 3-3: Promedio de CO₂ ppm de los puntos de muestreo

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La recolección de las muestras realizadas pertenece a las concentraciones de ppm CO₂ con promedios de la humedad entre de 63 y 73, y la temperatura con un promedio de 14-20 °C, permite tener una referencia del comportamiento del clima a la hora de recolectar las muestras en tiempo real.

La grafica 3-3 indica los valores de emisión máxima de 24.73 ppm CO₂ en punto P2 y 24.68 ppm CO₂ en el punto P8 CO₂, el valor medio de emisión CO₂ se encuentra en los puntos P3 y P4 con

21.48 y 24.43 ppm CO₂ respectivamente, y un valor mínimo en el punto P5 con 10.93 ppm CO₂. Existe una clara diferencia de emisión a la hora del muestreo

Según la guía del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo o INSST indica el nivel de alerta se encuentra entre 0-5000 ppm, los valores obtenidos se pueden verificar que se encuentran dentro de los límites permisibles, lo cual se puede observar en la tabla 1-3 (CO₂ Earth, 2021.párr. 1-3; INSTH, 2019, pp. 67).

4.4.4. Comparaciones en parejas de Tukey

Tabla 3-10: Agrupar la información utilizando el método de Tukey con una confianza del 95%

Puntos	N (número muestra)	Media	Agrupación						
P2	720	24,732	A						
P8	720	24,686	A						
P9	720	23,905		B					
P1	720	21,6240			C				
P4	720	21,4828			C				
P3	720	21,4222			C	D			
P7	720	20,9776				D			
P10	720	20,067					E		
P6	720	10,9730							F
P5	720	10,9323							F

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

La tabla 3-10 muestra los puntos de muestreo, medias y una columna de agrupación que son asignadas en números alfabéticos a cada una de las medias, si una o más de letras coinciden indica que los valores son similares y son significativamente iguales, por lo contrario, si una de las letras no coincide nos indica que son significativamente diferentes.

En análisis estadístico realizado en Minitab, se puede comparar las letras que no coinciden son P9-B con una media de 23,905 ppm CO₂ el P10-E con una media de 20.067 ppm CO₂, por tanto, son significativamente diferentes. El punto P3-C-D tiene un valor media de 21.4222 ppm, indica que el valor es similar al valor de la media del punto P7-D de 20.977 ppm y los valores que sí coinciden las letras alfabéticas y sus medias en los puntos P2-A= 24.732 ppm, P8-A=24.686 ppm; P1-C=21.6240; P4-C 21.4828 ppm y P3-C=21.4222 ppm; P3-D= 21,4222 ppm, P7-D=20,9776 ppm y los puntos de P5-F=10,9730 ppm y P6-F =10,9323 ppm las letras comparten en más de una ocasión lo que indica que los valores de las medias son significativamente iguales.

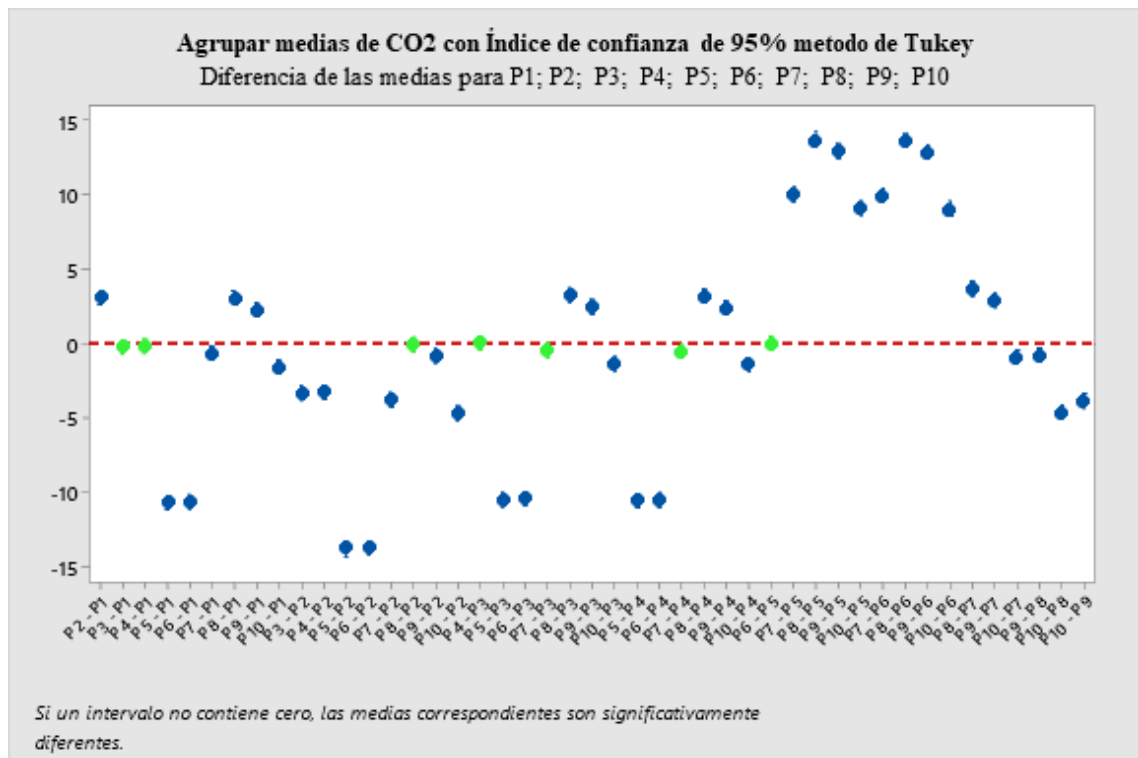


Gráfico 3-4: Medias agrupadas de CO₂ ppm por el método de Tukey

Realizado por: Ugenio, N., 2021.

En el gráfico 3-4 se puede observar la línea cero de color rojo, y los puntos de color verde son aquellos que se unen con la línea roja y son significativamente iguales, el primer grupo P3-P1 con una confianza de 95% una estimación de -0.362 y un intervalo de (-0,692; 0,288) y P4-P1 con una confianza de 95% una estimación de -0.253 y un intervalo de (-0,631; 0,349) en el segundo grupo coinciden P8-P2 con una confianza de 95% una estimación de -0.082 y un intervalo de (-0,536; 0,444) en el tercer grupo se encuentra P4-P3 con una confianza de 95% una estimación de 0.108 y un intervalo de (-0,430; 0,551), P7-P3 con una confianza de 95% una estimación de -0.798 y un intervalo de (-0,935; 0,046), en el grupo cuatro esta los P7-P4 con una confianza de 95% una estimación de -0.907 y un intervalo de (-1.789; -0.027) y el grupo cinco se encuentra el P6-P5 con una confianza de 95% una estimación de 0.073 y un intervalo de (-0,449; 0,531), estos puntos son significativamente iguales, por lo tanto, de color azul son diferentes.

CONCLUSIONES

- En este trabajo se identificó las cantidades las concentraciones de CO_x y CO_2 mediante los sensores MQ7 y el sensor MQ135, acoplados a la plataforma Arduino, en la zona sur de la parroquia de Calpi cantón Riobamba. los más importantes de la identificación de las concentraciones de CO_x y CO_2 fue conocer sobre la calidad del aire en zonas rurales y la creciente presencia de las actividades industriales. Los aspectos que más contribuyeron a al monitoreo de la calidad del aire fue adquirir información y conocer la calidad del aire presente en los puntos seleccionados.
- Una vez que se tenga la placa y los sensores de Arduino programados calibrados y verificados, se implementó estos dispositivos a una altura de 1.80 m para el monitoreo. Las concentraciones de CO_x y CO_2 del aire en la zona sur de la parroquia de Calpi fueron monitoreados por un periodo de 30 días, debido a la facilidad del transporte, así como la adquisición de los datos en tiempo real por las 24 horas al día. Estos sensores fueron programados mediante comandos de inicio como el void setup () que hace el inicio de la programación o el void loop () es donde empieza la verdadera programación, verificación y corridas de la programación y posteriormente almacenaje en una tarjeta de almacenamiento micro SD.
- Una vez que se recolectó todos los datos obtenidos de las concentraciones de CO_x y CO_2 mediante los sensores MQ7, MQ135, se creó una base de datos que finalmente fue analizada por métodos de estadística inferencial. Una vez realizado el análisis estadístico, se conoció las diferencias o igualdad de medias en los datos muestreados en los 10 puntos, para las concentraciones de CO_x y CO_2 , planteados la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, se llegó a rechazar la hipótesis nula por lo que no existen igualdad entre las medias y se acepta la hipótesis alternativa. Los valores P de 0.00 son menores al valor de significancias, la media más alta de emisión de CO_2 es de 24.73 ppm y la media más alta de CO_x ug/m^3 .
- La emisión de cada uno de los contaminantes analizados se encuentra dentro de los límites permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-A y los límites del INSST.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el monitoreo por un período de tiempo más prolongado, con el fin de crear una base de datos de mayor robustez, y así poder contar con información acerca de la calidad de aire en zonas rurales.
- Se sugiere utilizar tecnologías de acceso libre como el software Arduino, que presenta una serie de ventajas como: facilidad a la hora de transportar los dispositivos, adquisición económica y alta funcionalidad de los sensores.
- Se recomienda utilizar los protocolos y manuales de calibración pertenecientes al tipo de sensor a utilizar, con el fin de evitar errores futuros durante la obtención de datos. Adicionalmente se debe brindar un mantenimiento de los sensores cada 8 días para asegurar calidad y veracidad en la información.
- Se propone utilizar un sensor que tenga una mayor sensibilidad a los contaminantes que se va a medir, para de esta manera conseguir datos con mayor precisión.

GLOSARIO

- **Arduino:** el software IDE (Integrated Development Environment.) del Arduino permite realizar infinidad de proyectos mediante el programa Arduino que es de acceso libre (Seedstudio, 2019, párr. 1-2).
- **Conectores:** En otras palabras cables eléctricos que se ensamblan con otros dispositivos para dar el funcionamiento de los mismos y el paso de la electricidad(Llamas, 2016, párr. 1-4).
- **Contaminación:** la contaminación ambiental y el desgaste de la calidad del aire en varias regiones del mundo, nos da una clara visión sobre las posibles consecuencias directas en la salud humana y los efectos de medioambiente (WHO, 2018a, párr. 1).
- **Fuentes móviles:** Son provenientes del área de transporte ya sea terrestre, aérea, marítima Solís Segura y López Arriaga (2003, pp. 84); Ubilla y Yohannessen (2017, pp. 112).
- **Fuentes puntuales:** Proviene de las actividades industriales. Solís Segura y López Arriaga (2003, pp. 84); Ubilla y Yohannessen (2017, pp. 112)
- **Hardware:** Todos los materiales como el computador, Tablet, Smartphone, así como el disco duro, donde puedas ver tocar físicamente se le conoce como hardware(Cernuda del Río y Gayo Avello, 2006. pp. 43-44).
- **Límites permisibles:** Indican la concentración máxima de emisión permisible de un contaminante del aire (Tapia Núñez, 2015, pp. 56).
- **Sensores:** se conocen por ser dispositivos de entrada y salidas, que ayudan a recolectar e interpretar la información obtenida mediante los sensores programados.(Caicedo Pedrera, 2017, pp. 21).
- **Sensor MQ-7:** El sensor MQ-7 es altamente sensible para monitorear el monóxido de carbono (CO) del aire, detecta dicho gas dentro del siguiente rango: 20 -2000 ppm. requieren de energía de 5 V, para la calibración se requiere de un precalentamiento de 24-48 horas (Yehui, 2014, pp. 1).
- **El sensor MQ135:** Es el dispositivo que permite monitorear el control de calidad del aire donde permite detectar ciertos contaminantes como CO₂, NO_x, NH₃, benceno, alcohol, humo, entre otros. Desde el punto de vista económico es asequible, ayuda a identificar contaminantes pueden peligrosos para la salud (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, 2015a, pp. 3; Olimex, 2008, pp. 1).
- **El software:** El software es la parte intangible de del sistema computacional el cual no se puede tocar (Prieto-Botella, Valera-Gran y Navarrete-Muñoz, 2020, párr. 2-3).

BIBLIOGRAFÍA

ARDUINO.CC, 2015a. Arduino - Introduction. [en línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

ARDUINO.CC, 2015b. Arduino Uno Rev3. Tienda oficial de Arduino [en línea]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.

ARDUINO.CC, 2015c. Getting Started with Arduino MEGA2560. Arduino Project Hub [en línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>.

BALLESTER, F., 2005. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. Rev. Esp. Salud Pública, vol. 79.

BOLDO, E., 2016. La contaminación del aire [en línea]. 1. Madrid: Brujas. ISBN 978-84-9097-228-1. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312070894_La_contaminacion_del_aire.

CAICEDO PEDRERA, A., 2017. Arduino para Principiantes: 2ª Edición [en línea]. S.l.: IT Campus Academy. ISBN 978-1-5464-7943-7. Disponible en: https://books.google.co.ve/books?id=Fw_RDgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false.

CAMILLONI, I. y VERA, C., 2003. La Atmósfera. , pp. 16.

CARRERA, D., 2015. Desarrollo de un prototipo de aplicación web en combinación con la plataforma Arduino para controlar la calidad de aire de la ciudad de Quito [en línea]. Quito: ESPE. [Consulta: 8 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/9565>.

CERNUDA DEL RÍO, A. y GAYO AVELLO, D., 2006. Informática general. Oviedo: Servitec. ISBN 978-84-689-7033-2.

CO2 EARTH, 2021. Actualización sobre el calentamiento global. *CO2.Earth* [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.co2.earth/>.

CONDORI ROQUE, M. A. y HERRERA ROQUE, V.S., 2019. Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018 [en línea]. Juliaca: Universidad Peruna Unión. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2713/Miguel_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CORONA, L., ABARCA, G. y CARREÑO, J., 2014. Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino [en línea]. 1. Mexico: Grupo editorial Patria,S.A. DE C.V. 1, 1. ISBN 978-607-438-936-4. Disponible en: [http://www.eet476.edu.ar/documentos/Aula%20Virtual/ABBONIZIO-6TM%20\(2\).pdf](http://www.eet476.edu.ar/documentos/Aula%20Virtual/ABBONIZIO-6TM%20(2).pdf).

EARTHDATA, 2021. Air Quality. Air Quality [en línea]. [Consulta: 8 marzo 2021]. Disponible en: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/hazards-and-disasters/air-quality/>.

GAD CALPI, 2015. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Santiago de Calpi. [en línea]. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660821800001_Calpi%20ultimo%20_30-10-2015_21-08-14.pdf.

GEOECUADOR, 2008. Estado del aire. [en línea]. Quito: [Consulta: 8 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/04.%20Capitulo%202.%20Estado%20del%20aire.pdf>.

GONZALO, V., 2020. Diseño e implementación de un sistema portátil de medida de CO2 [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/63136/1/PFC_VICTOR_PABLO_GOZALO.pdf.

HANWEI ELECTRONICS CO. LTDA, 2007. Technical data MQ-7 gas sensor.

INEC, 2010. Riobamba (urbano) área rural periferia: Cacha Calpi, Cubijíes, Flores, Licto, Pungalá [en línea]. 2010. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/Chimborazo/Fasciculo_Riobamba.pdf.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL., 2004. Gestión de la calidad del aire: Causas, Efectos y Soluciones [en línea]. 2004. S.l.: s.n. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/mambiente/gest_cal/pdf/t_completo.pdf.

INSST, 2019. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2019. S.l.: s.n. ISBN 978-84-7425-828-8.

KATCH, V., 2019. The environment is hurting, and so are we. Michigan Today [en línea]. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://michigantoday.umich.edu/2019/01/21/the-environment-is-hurting-and-so-are-we/>.

LLAMAS, L., 2016. Medir temperatura y humedad con Arduino y sensor DHT11-DHT22. *Luis Llamas* [en línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-dht11-dht22/>.

LOAIZA, Y., 2019. ¿Respiramos aire contaminado en las ciudades del Ecuador? *GK* [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: <https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-ecuador-ciudades/>.

MILLÁN, F.M., 2016. Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino [en línea]. España: Universidad Zaragoza. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/59102/files/TAZ-TFG-2016-2689.pdf?fbclid=IwAR0J7sXG50eV3QZBTJKpb0d7W-oI0xLFMraTAAkEi5U7wwvHTQ21tu2oADI>.

NATHANSON, J., 2018. air pollution. *Encyclopedia Britannica* [en línea]. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/air-pollution>.

OLIMEX, 2008. MQ135 Gas sensor: Technical Data. 2008. S.l.: s.n.

OPS/OMS, 2016. Contaminación del Aire Ambiental. [en línea]. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es.

ORTEGA, D., 2017. Implementación de un prototipo para el monitoreo de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) en lugares residenciales utilizando el sistema operativo Android y Arduino. S.l.: s.n.

PETRUZZELLO, M., 2018. Air pollution: Additional Information. Encyclopedia Britannica [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/air-pollution/additional-info>.

PORTA, A., SANCHEZ, E.Y. y COLMAN LERNER, J.E., 2018. Calidad del aire [en línea]. 2018. S.l.: EDULP. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73756>.

PRIETO-BOTELLA, D., VALERA-GRAN, D. y NAVARRETE-MUÑOZ, E.-M., 2020. Contribución a la práctica de ciencia abierta: el uso de software libre en Gaceta Sanitaria. *Gaceta Sanitaria*, vol. 34, no. 2, pp. 213-214. ISSN 0213-9111. DOI 10.1016/j.gaceta.2019.11.004.

RAFFERTY, J.P., 2021. Carbon dioxide. Encyclopedia Britannica [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/carbon-dioxide>.

RODRÍGUEZ-GUERRA, A. y CUVI, N., 2019. Contaminación del Aire y Justicia Ambiental en Quito, Ecuador. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, vol. 8, no. 3, pp. 13-46. ISSN 2238-8869. DOI 10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46.

SALCIDO, A., CELADA MURILLO, A.T., TAMAYO FLORES, G.A., HERNÁNDEZ FLORES, N., CARREÓN SIERRA, S., MARTÍNEZ FLORES, M.A. y COLÍN AGUILAR, A.L., 2019. Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria* [en línea], vol. 20, no. 3. [Consulta: 26 julio 2021]. ISSN 16076079. DOI 10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3. Disponible en: http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v20_n3_a3_Calidad-del-aire-y-monitoreo-atmosf%C3%A9rico.pdf.

SEEDSTUDIO, 2019. Introduction to the Arduino. Latest open tech from seed studio [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/04/introduction-to-the-arduino-what-is-arduino/>.

SHARP, T., 2017. Earth's Atmosphere: Composition, Climate & Weather. *Space.com* [en línea]. Disponible en: <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>.

SOLER y PALAU, 2017. Sensor de temperatura: tipos y normativa. 2017. S.l.: s.n.

SOLÍS SEGURA, L.M. y LÓPEZ ARIAGA, G.A., 2003. Principios básicos de contaminación ambiental [en línea]. 1. Mexico: UAEM. ISBN 978-968-835-813-9. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=pKP2BHi8FVvC&pg=PA84&dq=tipos+de+fuentes+de+emisi%C3%B3n+de+la+contaminaci%C3%B3n+ambiental&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjZi_61genpAhXQnOAKHZMbAOIQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false.

TAPIA NÚÑEZ, L., 2015. Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión (Anexo 4, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) [en línea]. 2015. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf.

UBILLA, C. y YOHANNESSEN, K., 2017. Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. Revista Médica Clínica Las Condes, vol. 28, no. 1, pp. 111-118. ISSN 0716-8640. DOI 10.1016/j.rmcl.2016.12.003.

WHO, 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

WHO, 2018a. Air pollution. Contaminación del aire [en línea]. [Consulta: 8 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/es/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health>.

WHO, 2018b. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. [en línea]. [Consulta: 26 julio 2021]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

ZELL, H., 2015. Earth's Atmospheric Layers. NASA [en línea]. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html.

ZHENGZHOU WINSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD, 2014. Toxic Gas Sensor. (Model : MQ-7, Manual. Winsen [en línea]. Disponible en: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7%20Ver1.3%20-%20Manual.pdf>.

ZHENGZHOU WINSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD, 2015. Air Quality Gas Sensor. model 135. Manual. [en línea]. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf).

ANEXOS

ANEXO A: PROCESO DE CALIBRACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.



Proceso de precalentamiento las 48 horas continuos y calibración



Ensamblaje y corrida del programa

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE LOS DATOS EN ZONA DE ESTUDIO.



Recolección de datos en el punto 1



Recolección de datos en punto 9

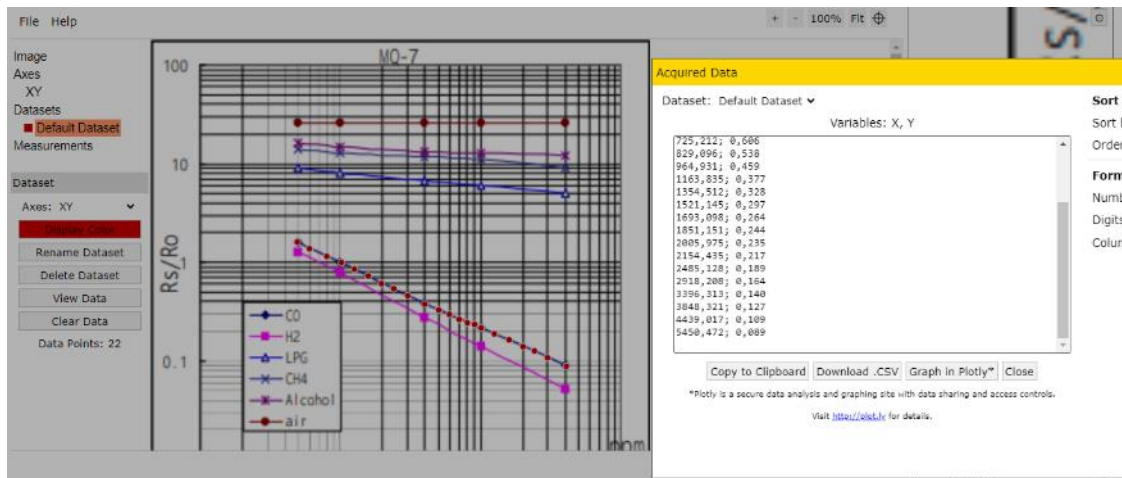


Recolección de datos en el punto 7

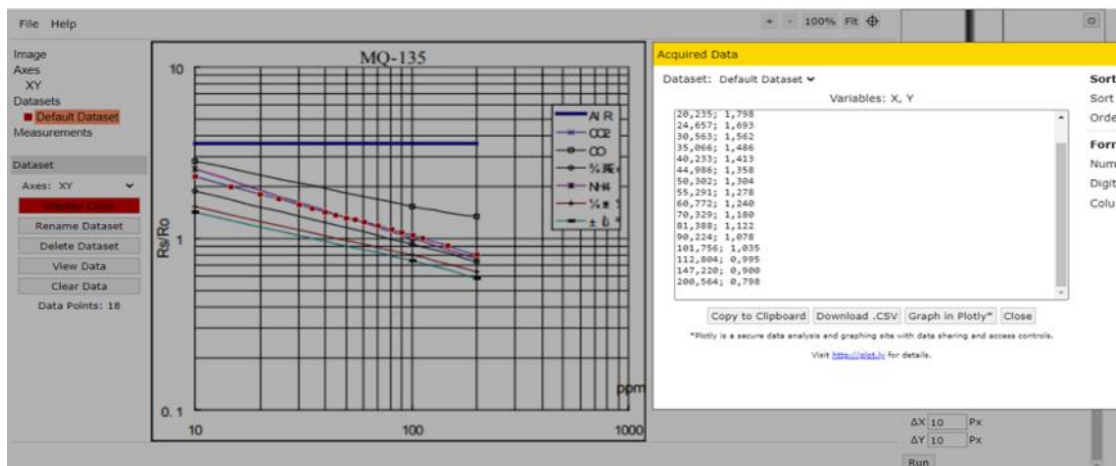


Recolección de datos en el punto 3

ANEXO C. CÁLCULO DE LOS DATOS DE CONTAMINANTES.



Grafica MQ7. Adquisición de datos a, b mediante la página WebPlotDigitizer



MQ135. Adquisición de datos a, b mediante la página WebPlotDigitizer

ANEXO D. DATOS RECOLECTADOS.

Fecha	Hora	CO _x	CO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
18/7/2020	14:0:42	48.00	20.70	101	50
18/7/2020	14:1:7	48.00	20.80	100	48
18/7/2020	15:0:18	50.00	20.00	105	48
18/7/2020	15:0:42	48.00	20.70	100	50
18/7/2020	15:1:7	48.00	20.80	105	46
18/7/2020	16:0:18	51.00	23.40	98	50
18/7/2020	16:0:42	51.00	22.70	99	50
18/7/2020	16:1:7	51.00	22.70	99	50
18/7/2020	17:0:18	51.00	15.00	133	67
18/7/2020	17:0:42	48.00	15.70	130	65
18/7/2020	17:1:7	48.00	15.60	133	67
18/7/2020	18:0:18	76.00	15.40	138	70
18/7/2020	18:0:42	76.00	15.10	138	72
18/7/2020	18:1:7	75.00	13.40	138	72
18/7/2020	19:0:18	84.00	13.20	91	48
18/7/2020	19:0:42	84.00	12.10	101	50
18/7/2020	19:1:7	84.00	12.30	100	48
18/7/2020	20:0:18	81.00	11.40	109	58
18/7/2020	20:0:42	81.00	11.20	109	58
18/7/2020	20:1:7	85.00	11.60	109	60
18/7/2020	21:0:18	75.00	12.00	101	48

Almacenamiento de los datos

```

PROYECTO2 Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

PROYECTO2
//Inicializar SD card //***** microSD *****
#include <SD.h> //CS 10
#define CS 10 //SCK 13
File dataFile; //MOSI 11
//MISO 12

//Inicializar reloj //***** RTC *****
#include <Wire.h> //SCL A5
#include "RTClib.h" //SDA A4
RTC_DS3231 rtc; //***** DHT11 *****
//DATA 2

//Inicializacion Tem_Hum //***** MQ *****
#include <DHT.h> //MQ2 A0
#define DHTPIN 2 //MQ135 A1
#define DHTTYPE DHT11 //***** LED *****
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Red 7
//Green 6

void setup(){
  //**Serial.begin(9600);
  delay(5000);
  //***** LEDa *****
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  //***** microSD *****
  Serial.print("Iniciando microSD... ");
  if(!SD.begin(CS)){
    Serial.print("no encontrado microSD");
    while(1){
  
```

Programación de los contaminantes de CO_x y CO₂.