



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIAY CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LOS SECTORES DE
INFLUENCIA DIRECTA DE LAS LADRILLERAS ARTESANALES
DE LA PARROQUIA SININCAY, CANTÓN CUENCA, ECUADOR.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: JONNATHAN BERNARDO QUITO JIMBO

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PHD

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LOS SECTORES DE
INFLUENCIA DIRECTA DE LAS LADRILLERAS ARTESANALES
DE LA PARROQUIA SININCAY, CANTÓN CUENCA, ECUADOR**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: JONNATHAN BERNARDO QUITO JIMBO

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PHD

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Jonnathan Bernardo Quito Jimbo portador de la cédula de ciudadanía N° 0105473888. Declaro ser el autor de la obra: "Estudio de la calidad de aire en los sectores de influencia directa de las ladrilleras artesanales de la parroquia Sinincay, cantón Cuenca, Ecuador", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 02 de agosto del 2023

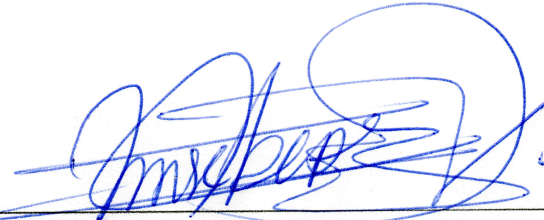
F: 

Jonnathan Bernardo Quito Jimbo

0105473888

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jonnathan Bernardo Quito Jimbo, bajo mi supervisión.



Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera, PhD
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero dar Gracias a Dios y la Virgen María Auxiliadora por permitirme lograr una meta más en mi vida, por no dejarme solo en este duro camino, por darme las fuerzas y el valor para seguir luchando a pesar de todas las adversidades de la vida, nunca perdí las esperanzas de llegar a estas instancias de mi vida, lo cual me permitió seguir creciendo como persona se con el pasar del tiempo nuevos retos y objetivos vendrán y que con su guía y ayuda sé que lo voy a lograr.

Quiero agradecer también a mis padres, Héctor Oswaldo Quito Ucho y Narcisa de Jesús Jimbo Aucapiña, quienes dieron todo por brindar un estudio para que llegue a lograr una meta más en mi vida, gracias a su apoyo incondicional y por creer en mi todo momento, espero que se sientan orgullosos de mi por cumplir mi sueño, ya que si su apoyo y ayuda no hubiese podido cumplir con otra de mis metas propuestas.

Agradezco mucho a mi director de tesis, Ing. Manuel Alvarez y a mi cotutor Blgo. Vinicio Santillán, por su apoyo constante, su tiempo, paciencia y dedicación a lo largo de todo es tiempo de investigación, su sabiduría, experiencia fueron fundamentales para la finalizacion de este proyecto de titulación.

Agradezco a mi hermana Emili y a mis hermanos Gabriel y Rafael por su apoyo y verme como un ejemplo de superación para ellos ahora sé que nunca les defraude y que todo su apoyo y sus buenos deseos dieron fruto.

Agradecer también a una persona especial e importante en mi vida Emilia Beatriz Tenesaca Zaruma, por todo su apoyo incondicional, sus consejos, sus palabras y su cariño para que a pesar de todo siga adelante y que nunca me dé por vencido hoy sé que gracias a ella estoy cumpliendo una meta más en mi vida.

Agradecer también a mi familia, que de una u otra manera siempre me apoyaron y me dieron sus palabras de aliento para poder lograr una meta más en mi vida, a mi tío José Quito quien me apoyo en los primeros años de mis estudios, hoy sé que todo su apoyo está dando fruto.

Agradezco a mis amigos y compañeros de estudio por compartir conmigo sus experiencias, sus locuras durante este largo camino y por siempre brindarme su apoyo y sus buenos deseos.

Quiero agradecer a mis profesores de la carrera de Ing. Ambiental, por compartir su conocimiento, su guía y su inspiración durante toda mi etapa académica, sus enseñanzas han dejado en mí una huella imborrable en mi formación personal y académica.

Agradezco a todas las personas que participaron en este estudio, aquellas personas que me abrieron las puertas de su hogar, ya que sin su ayuda este trabajo no habría sido posible.

Quiero agradecer a las personas que durante mi vida y mi etapa de estudio siempre me acompañaron y me bridaron sus buenos deseos, consejos y su cariño espero no haberlos defraudado y decirles que esto no hubiera sido posible sin su apoyo.

Y finalmente quiero agradecer infinitamente a la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca y al Ing. Juan Carlos Cobos, por prestarme los equipos utilizados durante el presente estudio.

¡Gracias infinitas a todos ustedes por brindarme su apoyo incondicional!

DEDICATORIA

A mis padres Oswaldo y Narcisa por su apoyo incondicional, su amor y por creer en mí, quien con su esfuerzo, cariño y dedicación me guiaron por el camino correcto hasta llegar a cumplir mis metas y objetivos a lo largo de mi vida espero de corazón se sientan orgullosos de su hijo de verlo cumplir una meta más en su vida.

A una persona importante y especial en mi vida que hoy lamentablemente ya no está por casualidades del destino, pero siempre estuvo hay para mi Emilia Tenesaca, gracias por haberme acompañado en este largo camino, por creer en mi cuando yo mismo dudaba, y por alentarme a seguir adelante en los momentos más difíciles, por ser la única persona en decirme que se siente “orgullosa de mi”, por apoyarme incondicionalmente, por sus abrazos reconfortantes, por tus sabias palabras de decirme “No te rindas tú puedes”. Gracias por haberme apoyado en todo momento por ser mi razón de ser. Este logro no hubiera sido posible sin tu ayuda y apoyo incondicional hoy puedo decirte que jamás me rendí y que puedes sentirte orgullosa de mi porque logre una de mis metas, un sueño hecho realidad. Este logro también es tuyo.

A mi abuelita Gerardina, quien me ayudo y siempre creyó en mi a pesar de los tropiezos de la vida y que a pesar de ello he aprendido a ser una mejor persona cada día.

A mi abuelito Elías, que desde el cielo me cuida y me guía espero de corazón se sienta orgulloso de su nieto y de ver lograr una meta más en su vida, siempre cuidó de mi cuando era pequeño y siempre creyó en mí.

A mis amigos y compañeros de estudio por compartir este viaje académico conmigo durante estos años, por largas horas de estudio, por su apoyo incondicional durante este proceso, hoy sé que juntos hemos superado obstáculos y alcanzado nuestras metas propuestas.

A mi familia por todo su amor su apoyo y aliento constante para lograr una meta más en mi vida, ya que si su ayuda nada de esto fuera posible siempre creyeron en mi hoy sé que nunca les he defraudado y que se sientan orgullosos de mí.

A todas las que de una u otra manera siempre me apoyaron y creyeron en mí, gracias por todo su aliento, sus buenos deseos, sus consejos, hoy mi vida estalla de felicidad por tener grandes personas a mi lado y que siempre confiaron en mí, esta tesis también es para ellos ya que tuvieron una influencia positiva en mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo, determinar la calidad de aire en los sectores de influencia directa de las ladrilleras artesanales de la parroquia Sinincay, mediante sensores electroquímicos de bajo costo e imágenes multiespectrales de teledetección, puesto que ostenta como una de las fuentes económicas para los pobladores de la zona la actividad ladrillera artesanal, ya que esto se lo ha desarrollado durante mucho tiempo y se ha ido transmitiendo de generación en generación con el pasar de los años. Se obtuvo como resultado que las concentraciones no son iguales, ya que la mayor concentración de CO, CO₂, NO₂ se generó en el sector del Chorro y San Luis de lajas, mientras que el sector del Sigcho presenta altas concentraciones de O₃ y finalmente el sector de la Dolorosa y Sigcho presentan mayor concentración de PM_{2.5}. Además, el modelo generado a partir de las imágenes multiespectrales nos permitió comparar los valores con las bandas espectrales (Red, Green y Blue) con las concentraciones de cada contaminante, evidenciando que la concentración de PM_{2.5} es más notable en el sector del Sigcho. Estos resultados son de gran importancia para evidenciar la calidad de aire que existe en la parroquia de Sinincay lo que permitirá implementar medidas de control y mitigación con el pasar del tiempo para incitar a la conciencia ambiental en la población.

Palabras clave: sensores electroquímicos, imágenes multiespectrales, teledetección, partículas contaminantes, ladrilleras.

ABSTRACT

This research aims to determine the air quality in the sectors directly influenced by artisanal brick kilns in the Sinincay parish, using low-cost electrochemical sensors and multispectral remote sensing images. Artisanal brickmaking is a long-standing economic activity in the region, passed down through generations. The study found unequal concentrations. The Chorro and San Luis de Lajas sectors exhibited the highest CO, CO₂, and NO₂ concentrations. In contrast, the Sigcho sector showed elevated levels of O₃, and the Dolorosa and Sigcho sectors had higher concentrations of PM_{2.5}. Additionally, the model generated from the multispectral images allowed us to compare pollutant concentration values with the spectral bands (Red, Green, and Blue), revealing that PM_{2.5} concentration was more noticeable in the Sigcho sector. These results are of significant importance in demonstrating the air quality in the parish of Sinincay, enabling the implementation of control and mitigation measures over time to encourage environmental awareness among the population.

Keywords: electrochemical sensors, multispectral imaging, remote sensing, particulate pollutants, brick kilns

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE ANEXOS	XII
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 OBJETIVOS	- 3 -
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	- 3 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	- 3 -
CAPÍTULO II	- 4 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 4 -
2.1 AIRE	- 4 -
2.1.1 <i>Calidad de aire</i>	- 4 -
2.2 ¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN?	- 4 -
2.3 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.	- 5 -
2.4 EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA CAUSADO POR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE.	- 6 -
2.5 FUENTES DE CONTAMINACIÓN ANTROPOGÉNICAS	- 8 -
2.5.1 <i>Fuentes móviles</i>	- 8 -
2.5.2 <i>Fuentes fijas</i>	- 9 -
2.6 INDUSTRIA LADRILLERA	- 9 -
2.6.1 <i>¿Qué es la industria ladrillera?</i>	- 9 -
2.6.2 <i>Ladrillo</i>	- 9 -
2.6.3 <i>Fases de fabricación de los ladrillos artesanales.</i>	- 9 -
2.7 PRODUCCIÓN DE LADRILLOS EN LA ACTUALIDAD EN LA CIUDAD DE CUENCA	- 13 -
2.8 CONTAMINACIÓN PROVOCADA POR LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS	- 14 -
2.9 GASES CONTAMINANTES EMITIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES.	- 15 -
2.9.1 <i>Contaminantes Primarios</i>	- 15 -
2.9.2 <i>Contaminantes Secundarios</i>	- 16 -
2.10 DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES.	- 18 -
2.11 ¿QUÉ SON LAS ESTACIONES FIJAS?	- 19 -
2.11.1 <i>Descripción de las estaciones fijas.</i>	- 19 -
2.12 ¿QUÉ ES EL DRON?	- 20 -
2.13 TIPOS DE SENSORES REMOTOS	- 21 -
2.14 TELEDETECCIÓN	- 22 -
2.15 IMÁGENES MULTIESPECTRALES	- 23 -
2.16 ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE (ICA)	- 23 -
2.16.1 <i>Obtención del índice de calidad del Aire</i>	- 23 -
2.17 NORMATIVA LEGAL	- 23 -
2.17.1 <i>Código Orgánico del Ambiente</i>	- 23 -

2.18	DE LOS PLANES DE ALERTA, ALARMA Y EMERGENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE _____	- 25 -
2.19	NORMAS GENERALES PARA CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES CRITERIO EN EL AIRE AMBIENTE _____	- 26 -
CAPÍTULO III _____		- 27 -
3.	MATERIALES Y MÉTODOS _____	- 27 -
3.1	ZONA DE ESTUDIO _____	- 27 -
3.2	MATERIALES E INSUMOS _____	- 28 -
3.2.1	<i>Estación de monitoreo Fija</i> _____	- 28 -
3.2.2	<i>Herramientas</i> _____	- 30 -
3.2.3	<i>Insumos</i> _____	- 30 -
3.2.4	<i>Calibración de los sensores electroquímicos de bajo costo.</i> _____	- 30 -
3.2.5	<i>Metodología aplicada</i> _____	- 30 -
3.3	PRIMER OBJETIVO: CUANTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES, MEDIANTE ESTACIONES FIJAS E IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA ESTABLECER LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE LOS MISMOS. _____	- 30 -
3.4	SEGUNDO OBJETIVO: COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE DETECCIÓN DE GASES ENTRE SENSORES ELECTROQUÍMICOS DE BAJO COSTO E IMÁGENES MULTIESPECTRALES MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA RSTUDIO PARA ESTABLECER SI LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES SON UNA ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO DE LOS CONTAMINANTES. _____	- 32 -
3.4.1	<i>Recopilación de datos:</i> _____	- 32 -
3.4.2	<i>Tabulación de datos:</i> _____	- 32 -
3.4.3	<i>Importación de datos a Rstudio:</i> _____	- 33 -
3.4.4	<i>Análisis de datos obtenidos durante el monitoreo de los sensores electroquímicos y las imágenes multiespectrales:</i> _____	- 33 -
3.4.5	<i>Comparación y evaluación de los datos:</i> _____	- 36 -
•	TERCER OBJETIVO: ESTABLECIMIENTO DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DE LOS GASES ESTUDIADOS MEDIANTE EL ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMA VIGENTE, PARA VERIFICAR SU CUMPLIMIENTO. _____	- 37 -
3.4.6	<i>Comparación con los límites máximos permisibles de la Normativa Legal Vigente:</i> _____	- 37 -
3.4.7	<i>Aplicación de la Metodología EPA para la obtención del índice de calidad del aire (ICA).</i> - 38 -	- 38 -
3.4.8	<i>Análisis y reporte de los resultados obtenidos:</i> _____	- 39 -
CAPÍTULO IV _____		- 40 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	- 40 -
4.1	CUANTIFICACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS ESTACIONES UBICADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO. _____	- 40 -
4.2	COMPARACIÓN DE LOS DATOS EXTRAÍDOS DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES ENTRE LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS DE BAJO COSTO Y LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES. _____	- 56 -
4.3	COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES CON LA NORMATIVA LEGAL VIGENTE. _____	- 58 -
4.4	DISCUSIÓN _____	- 62 -
CAPÍTULO V _____		- 64 -
5.	CONCLUSIONES _____	- 64 -
CAPÍTULO VI _____		- 65 -
6.	RECOMENDACIONES _____	- 65 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____		- 67 -

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Materia prima arcilla.</i>	- 10 -
<i>Figura 2: Molienda de arcilla.</i>	- 10 -
<i>Figura 3: Extrusión de la arcilla.</i>	- 11 -
<i>Figura 4: Corte de los ladrillos.</i>	- 11 -
<i>Figura 5: Secado del ladrillo.</i>	- 12 -
<i>Figura 6: Horno de leña.</i>	- 12 -
<i>Figura 7: Comercialización del ladrillo.</i>	- 13 -
<i>Figura 8: Ladrillera artesanal.</i>	- 14 -
<i>Figura 9: Dron y sus diferentes componentes.</i>	- 20 -
<i>Figura 10: Niveles de espectros electromagnéticos</i>	- 21 -
<i>Figura 11: Delimitación de la zona de estudio.</i>	- 27 -
<i>Figura 12: Ubicación de estaciones de monitoreo y ladrilleras artesanales.</i>	- 28 -
<i>Figura 13: Estación fija para el monitoreo y obtención de la concentración de los gases.</i>	- 28 -
<i>Figura 14: Plataforma Thingspeak</i>	- 32 -
<i>Figura 15: Exportación de datos obtenidos durante el monitoreo en formato CSV.</i>	- 33 -
<i>Figura 16: Límites permisibles de contaminación atmosférica del ICA.</i>	- 39 -
<i>Figura 17: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.</i>	- 40 -
<i>Figura 18: Comportamiento del nivel de concentración del CO durante los días de monitoreo por sector.</i>	- 40 -
<i>Figura 19: Comportamiento del nivel de concentración del CO durante los días de monitoreo por estación fija.</i>	- 41 -
<i>Figura 20: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.</i>	- 42 -
<i>Figura 21: Comportamiento del nivel de concentración del CO₂ durante los días de monitoreo por sector.</i>	- 42 -
<i>Figura 22: Comportamiento del nivel de concentración del CO₂ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.</i>	- 43 -
<i>Figura 23: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.</i>	- 43 -
<i>Figura 24: Comportamiento del nivel de concentración del NO₂ durante los días de monitoreo por sector.</i>	- 44 -
<i>Figura 25: Comportamiento del nivel de concentración del NO₂ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.</i>	- 45 -
<i>Figura 26: Diagrama de cajas con los niveles de concentración del O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.</i>	- 45 -
<i>Figura 27: Comportamiento del nivel de concentración del O₃ durante los días de monitoreo por sector.</i>	- 46 -
<i>Figura 28: Comportamiento del nivel de concentración del O₃ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.</i>	- 46 -
<i>Figura 29: Diagrama de cajas con los niveles de concentración del PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.</i>	- 47 -
<i>Figura 30: Comportamiento del nivel de concentración del PM_{2.5} durante los días de monitoreo por sector.</i>	- 47 -
<i>Figura 31: Comportamiento del nivel de concentración del PM_{2.5} durante los días de monitoreo por estaciones fijas.</i>	- 48 -
<i>Figura 32: Anova del nivel concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.</i>	- 49 -
<i>Figura 33: Anova del nivel concentración de CO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.</i>	- 49 -

Figura 34: Anova del nivel concentración de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.	- 50 -
Figura 35: Anova del nivel concentración de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.	- 50 -
Figura 36: Anova del nivel concentración de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.	- 51 -
Figura 37: Niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada sector.	- 51 -
Figura 38: Niveles de concentración de CO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada sector.	- 52 -
Figura 39: Nivel de concentración de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada sector.	- 52 -
Figura 40: Niveles de concentración de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada sector.	- 53 -
Figura 41: Niveles de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada sector.	- 53 -
Figura 42: Nivel de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.	- 54 -
Figura 43: Nivel de concentración de CO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.	- 54 -
Figura 44: Niveles de concentración de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.	- 55 -
Figura 45: Nivel de concentración de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.	- 55 -
Figura 46: Nivel de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.	- 56 -
Figura 47: Correlación de bandas multiespectrales para la zona de estudio.	- 56 -
Figura 48: Escala de colores para determinar la concentración de $\text{PM}_{2.5}$.	- 57 -
Figura 49: Imagen multiespectral del nivel de concentración del $\text{PM}_{2.5}$ en la zona de estudio.	- 57 -
Figura 50: Comparación del nivel de concentración del CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto a la normativa legal vigente.	- 58 -
Figura 51: Comparación del nivel de concentración del CO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	- 59 -
Figura 52: Comparación del nivel de concentración del NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto a la normativa legal vigente.	- 59 -
Figura 53: Comparación del nivel de concentración del O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto a la normativa legal vigente.	- 60 -
Figura 54: Comparación del nivel de concentración del $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto a la normativa legal vigente.	- 61 -
Figura 55: Colocación de las estaciones fijas.	- 72 -
Figura 56: Ubicación de la zona de estudio y colocación de las estaciones fijas.	- 72 -
Figura 57: Calibración y toma de imágenes multiespectrales.	- 73 -
Figura 58: Ruta de vuelo del dron DJI Matrice 300 RTK en la zona de estudio.	- 73 -
Figura 59: Cámara multiespectral utilizada para la obtención de imágenes espaciales.	- 74 -
Figura 60: Procesamiento de los datos obtenidos durante el monitoreo para evidenciar las concentraciones de gases.	- 75 -
Figura 61: Manejo del programa Rstudio para la obtención de las gráficas.	- 75 -
Figura 62: Comportamiento del monóxido de carbono en relación a los días de monitoreo.	- 75 -
Figura 63: Presencia de material particulado en las estaciones fijas.	- 76 -
Figura 64: Emisión de gases proveniente de las fábricas de ladrillo artesanales.	- 76 -
Figura 65: Contaminación provocado por el efecto de las ladrilleras artesanales.	- 77 -
Figura 66: Emisión de gases durante la noche en la etapa de cocción de los ladrillos.	- 77 -

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Contaminantes del aire y los efectos a la salud.</i>	- 5 -
<i>Tabla 2: Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.</i>	- 25 -
<i>Tabla 3: Norma de calidad del aire ambiente (NCAA).</i>	- 26 -
<i>Tabla 4: Componentes que está conformada la estación móvil.</i>	- 29 -
<i>Tabla 5: Sensores que conforman la estación fija.</i>	- 30 -
<i>Tabla 6: Coordenadas de las estaciones fijas para el monitoreo.</i>	- 31 -
<i>Tabla 7: Bandas multiespectrales y sus rangos.</i>	- 31 -
<i>Tabla 8: Coeficientes entre bandas multiespectrales y los sensores electroquímicos de bajo costo.</i>	- 37 -
<i>Tabla 9: Norma de calidad del aire ambiente (NCAA)</i>	- 38 -
<i>Tabla 10: Niveles de concentración del CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de influencia con las ladrilleras.</i>	- 58 -
<i>Tabla 11: Niveles de concentración del CO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de influencia con las ladrilleras.</i>	- 58 -
<i>Tabla 12: Niveles de concentración del NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de influencia con las ladrilleras.</i>	- 59 -
<i>Tabla 13: Niveles de concentración del O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de influencia con las ladrilleras</i>	- 60 -
<i>Tabla 14: Niveles de concentración del PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de influencia con las ladrilleras.</i>	- 60 -

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1: Fotografía de la colocación de las estaciones fijas en la zona de estudio para el monitoreo de las concentraciones de gases. _____ - 72 -*
- Anexo 2: Fotografía del mapa donde se colocaron las estaciones fijas para el monitoreo en nuestra zona de estudio. _____ - 72 -*
- Anexo 3: Fotografía del monitoreo con el dron DJI Matrice 300 RTK para la toma de imágenes multiespectrales en la zona de estudio. _____ - 73 -*
- Anexo 4: Fotografías del manejo de los programas “Excel” y “Rstudio” que sirvieron para determinar el grado de contaminación existente en la zona de estudio. _____ - 74 -*
- Anexo 5: Fotografías que evidencian la contaminación del aire en la zona de estudio por efecto de las ladrilleras artesanales. _____ - 76 -*
- Anexo 6: Fotografías evidenciando la contaminación provocada por las ladrilleras artesanales. - 76 -*
-

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire en la actualidad se ha convertido en un problema ambiental muy grave que está enfrentado la humanidad. Está presente a nivel global independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, afectando la salud del ser humano (OMS/OPS, 2014). Según Yassi (2002) la velocidad a la que se liberan sustancias peligrosas en el aire supera la velocidad de los procesos atmosféricos naturales que las alteran, disuelven y distribuyen mediante precipitación o dilución. Además, Steffen et al., (2015) identifica al cambio climático y a la influencia humana en el ciclo del nitrógeno como los tres sistemas planetarios que han superado los umbrales críticos.

El impacto en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) es directo y devastador. Específicamente, socava los logros de ODS. Los efectos perjudiciales de la contaminación del aire se extienden más allá de los objetivos de desarrollo sostenible antes mencionados. Su impacto también afecta indirectamente a otras áreas como él (ODS 1), la provisión de una educación de calidad (ODS 4), la garantía del acceso a energía limpia y asequible (ODS 7), el fomento de la sostenibilidad crecimiento económico y trabajo decente (ODS 8), fomento de la industria, la innovación y la infraestructura (ODS 9) y fomento de alianzas para lograr objetivos comunes (ODS 17) (UNICEF, 2019).

El efecto en la vida humana es innegablemente grave. La investigación sugiere que cada individuo en todo el mundo pierde un año entero de su vida debido a los efectos nocivos de la contaminación del aire (Bernhardt et al., 2019). El resultado pronosticado es que la contaminación del aire exterior superará a todos los demás factores ambientales como la principal causa de muerte (PNUMA, 2014). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha identificado la contaminación del aire como un peligro ambiental importante que plantea riesgos para la salud. En 2016, la contaminación ambiental fue responsable de aproximadamente 7 millones de muertes prematuras. Además, la contaminación con tasas elevadas de afecciones médicas como cáncer, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y enfermedades respiratorias como el asma (OMS, 2022).

En 1986 se inició el monitoreo de la calidad del aire en el área metropolitana de Cuenca de manera incompleta e inconsistente. Las investigaciones realizados con datos obtenidos dentro de la ciudad demuestran una correlación entre el empeoramiento de la salud respiratoria y una menor calidad del aire (Palacios & Espinoza, 2014). Uno de los factores contribuyentes es el aumento del número de vehículos en la zona. Otra razón es la expansión del sector industrial, que ha llevado a un aumento de la contaminación. Además, las actividades humanas colectivas en el área también han jugado un papel en la disminución de la calidad del aire (Ministerio del Ambiente, 2014). Como resultado de la combustión incompleta, se ha generado una mayor cantidad de gases contaminantes (EMOV, 2019). Actualmente, la calidad se puede determinar mediante el uso de mediciones satelitales (Mendez, 2020), El uso diferentes estaciones permite realizar mediciones in situ y recopilar datos a distancia (Moreno, 2008). La diferencia entre estas técnicas de medición radica en su resolución (Nisperuza et al., 2020).

De acuerdo al último inventario de emisiones elaborado en el año 2014, las fuentes más importantes de emisión, son los contaminantes primarios tales como:

- Monóxido de carbono (CO): tráfico vehicular 94.5%.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x): tráfico vehicular 71.2% y térmicas 18.5%,
- Dióxido de azufre (SO₂): industrias 60.4% y térmicas 35.1%
- Material particulado fino (PM_{2.5}): tráfico vehicular 42.5 %, ladrilleras artesanales 38.5%, térmicas 11.3%,

- Material particulado (PM10): tráfico vehicular 55.6%, ladrilleras artesanales 24.6% (EMOV, 2021).

La actividad ladrillera en la actualidad sigue siendo una de las industrias más importantes de la construcción, sin embargo, las emisiones de contaminantes que genera durante sus procesos la llevan a considerar que esta industria es una de las que afecta al cambio climático y a la salud de las personas, es importante tener en consideración que han existido avances y cambios en términos de tecnología y sostenibilidad en la fabricación de los ladrillos.

La contaminación atmosférica ocurre desde la extracción de MP para lograr la elaboración de ladrillos, el período de cocción por los hornos causa gases, lo que afecta a los recursos naturales, cuerpos de agua y por ende también influye en el cambio climático. La producción artesanal de ladrillos genera contaminantes primarios: CO, NO_x, COVs, SO_x, PM₁₀, CH₄ y CO₂ (Jaya & Vásquez, 2012).

Bajo nuestra percepción, es de gran importancia el monitoreo, análisis y control de la calidad de aire, pues, según Borrego et al., (2016), además de preveer posibles malestares que afectan la salud de la localidad son necesarios para impulsar estrategias que permitan disminuir e impulsar a la conciencia ambiental entre la población.

Se pretende determinar la concentración de los gases y partículas contaminantes en la parroquia Sinincay y sus alrededores, provocados por las ladrilleras artesanales debido a que esta actividad se desarrolla de manera desordenada, y con técnicas arcaicas para el funcionamiento de los hornos. Por lo tanto, en esta investigación se monitoreo la calidad de aire proveniente de las ladrilleras artesanales ubicadas en el sector del Sigcho, Dolorosa, Chorro y Luis de las lajas que pertenecen a la parroquia Sinincay de la ciudad de Cuenca. Determinando la calidad del aire mediante el monitoreo de los contaminantes atmosféricos generados por las ladrilleras artesanales mediante el uso de estaciones fijas equipadas con doce sensores electroquímicos de bajo costo. Adicionalmente, se utilizó un dron con una cámara multiespectral para captar los distintos espectros de luz de los contaminantes, y comparar los sensores electroquímicos de bajo costo y sensores remotos para establecer si las imágenes multiespectrales son una alternativa para el monitoreo de los contaminantes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar la calidad de aire en los sectores de influencia directa de las ladrilleras artesanales de la parroquia Sinincay, mediante sensores electroquímicos de bajo costo e imágenes multiespectrales de teledetección.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar los contaminantes atmosféricos generados en la fabricación de ladrillos artesanales, mediante estaciones fijas e imágenes multiespectrales para establecer los niveles de concentración de los mismos.
- Comparar los datos de detección de gases entre sensores electroquímicos de bajo costo e imágenes multiespectrales mediante el uso del programa Rstudio para establecer si las imágenes multiespectrales son una alternativa para el monitoreo de los contaminantes.
- Establecer los niveles de contaminación de los gases estudiados mediante el análisis comparativo con la norma vigente, para verificar su cumplimiento.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aire

Una mezcla líquida de gases, que comprende al menos un 20 % de oxígeno, un 77 % de nitrógeno, así como proporciones denominados de gases inertes y vapor de agua, ya que, constituye una parte de la atmósfera terrestre (Amaya et al., 2008).

Es un recurso muy esencial y necesario para la vida del ser humano, organismos vivos y es un signo del deterioro y cambio en la salud, ya que las industrias, automóviles, entre otros emiten contaminantes que son promotores de enfermedades respiratorias y enfermedades de alto riesgo (Torres, 2018).

2.1.1 Calidad de aire

Se refiere a la composición del aire ya que contiene miles de compuestos diferentes y entre estos principales compuestos que se hallan en el aire son: el nitrógeno, el oxígeno y el hidrógeno, ya que sin estos tres compuestos la vida en la Tierra no fuera posible, pues la presencia o ausencia de diversas sustancias y concentraciones son componentes determinantes para la calidad del aire que respiramos. Por para determinar la calidad se la expresa mediante la concentración de los contaminantes, presencia de microorganismos, entre otros; por ejemplo, los contaminantes que son importantes para indicar la calidad del aire son: el dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, el ozono troposférico y material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀).

La calidad del aire en un área se determina midiendo las emisiones contaminantes a través de una red de monitoreo que consta de una serie de estaciones. La contaminación del aire ocurre durante el proceso, desde la extracción hasta el procesamiento. Esto se debe a que el humo que emiten los hornos durante la etapa de cocción (Tarazona & Fonseca, 2022).

Si bien se conoce en el Ecuador ciudades como Quito, Cuenca y Guayaquil sobrellevan una mala calidad del aire y la monitorean para buscar una mejor calidad, por lo que en la actualidad Cuenca es la tercera ciudad más poblada del país, ya que cuenta con diferentes estaciones de monitoreo distribuidas por diferentes zonas de la ciudad para así poder llevar un registro de los contaminantes que diferentes industrias generan a diario (Palacios & Espinoza, 2014).

2.2 ¿Qué es la contaminación?

Es la presencia de componentes, sustancias, energías y combinaciones que se dan en el medio ambiente, en concentraciones y persistencia por encima o por debajo de los valores determinados por los actos jurídicos vigentes (MAE, 2010).

Es una alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas de la tierra, el aire o agua. Las cuales pueden originar un desequilibrio en el medio afectando así al desarrollo, bienestar y salud de los seres vivos que estén cerca o lejos de la fuente de contaminación que se conoce como vector, dado que este indica la zona de contaminación (Orellana, 2005).

La contaminación tiene en común factores de ubicación que toman el nombre de vectores, ya que están estrechamente relacionados entre ellos, dado que los contaminantes que estén en un entorno fácilmente pueden ser trasladados de un lugar a otro generando una nueva contaminación (Encinas, 2011).

Debido al incremento de la contaminación provocando un alto impacto en el equilibrio del medio ambiente, lo que acelera los procesos en el cambio climático, efecto invernadero y la presencia de la lluvia ácida que son muy peligrosos para la flora y fauna (Quispe, 2021).

2.3 Contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica se la puede definir como cualquier sustancia añadida a la atmósfera que puede causar daño tanto a los humanos como al medio ambiente; este efecto nocivo puede manifestarse de diferentes formas, como enfermedades respiratorias. Como explica Moscoso (2019), la Tierra se conforma por gases conocida como atmósfera, de aproximadamente 80-100 km de espesor. Sin embargo, la mayoría de estos gases, alrededor del 99%, se encuentran dentro de los primeros 30 km de la atmósfera. Estos gases están en constante movimiento debido a los efectos de la gravedad y varios procesos de movimiento de masas, como la convección o el viento.

Según Samanez, (2020), la atmosférica se ha visto afectada por el cambio en la composición homogénea del aire o la persistencia de una sustancia o forma de energía (radiación, vibración, ruido, ionización, etc.) que puede causar riesgo, perjuicio o incomodidad grave para el ser humano o el medioambiente. También se aplica a problemas ambientales ya sea de carácter local o regional, que suelen afectar a una sola zona o incluso a zonas más extensas del planeta. Se denominan contaminantes si estos materiales o formas de energía directa e indirectamente pueden amenazar la salud humana, el bienestar, los recursos o el medio ambiente, el proceso de dispersión de sustancias contaminantes en el medio ambiente se denomina emisiones, mientras que la concentración de contaminantes una vez que son emitidos, trasladados y dispersados en la atmósfera se les denomina inmisión.

En la **Tabla 1** se observa las principales fuentes de emisión y efectos en la salud.

Tabla 1: Contaminantes del aire y los efectos a la salud.

Contaminante	Fuente principal	Efectos en la salud
Monóxido de carbono (CO)	Motores de explosión, hornos y calentamiento domésticos.	Intoxicación aguda y crónica
Dióxido de carbono (CO₂)	Combustión de combustibles fósiles (derivados de petróleo, carbón, etc.)	Dolores de cabeza, problemas respiratorios, mareos y falta de concentración.
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	Estufas de gas, calderas, calentadores de queroseno	Cambios en el bronquiolo terminal y lesiones alveolares
Dióxido de azufre (SO₂)	Plantas termoeléctricas, cadenas industriales, fundiciones de cobre, automóviles, combustibles fósiles.	Irritación principal de las vías respiratorias superiores.
Ozono (O₃)	Emisiones de automóviles, reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno.	Inflamación de las vías aéreas y disminución en la función respiratoria, bronquios
Material particulado (PM_{2.5})	Combustión industrial y residencial, emisiones vehiculares, incendios forestales y reacciones de gases en la atmósfera.	Asma

Fuente: (OPS/OMS, 2005)

De acuerdo a Zambrano, Gilbert & Wendell (2018), afirman que la acumulación de los contaminantes, es causada por procesos naturales o actividades humanas. Los contaminantes que contribuyen al cambio climático incluyen partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} , además de contaminantes gaseosos. Este problema ha sido un problema persistente durante siglos, que se remonta a la antigüedad, pero se ha vuelto cada vez más grave desde la revolución industrial debido a la producción de grandes cantidades de gases tóxicos que alteran el delicado equilibrio de la atmósfera.

2.4 Efectos sobre la salud humana causado por la contaminación del aire.

a) Monóxido de carbono (CO)

Es tóxico, se une fuertemente a la hemoglobina en la sangre, reduce significativamente la capacidad de la sangre para movilizar oxígeno, provocando la adaptación estructural del corazón y el cerebro de los animales, genera cambios en los umbrales de brillo relativo y la visión, así como disfunciones en las pruebas psicomotoras, la hipoxia afecta el corazón, el cerebro, las plaquetas y vasos sanguíneos (Buitrago & Rojas, 2017).

La presencia de CO en el torrente sanguíneo conduce a una insuficiencia de oxígeno en el torrente sanguíneo. Si sus niveles de COHb son inferiores al 10 %, es posible que tenga síntomas como náuseas. Si los niveles de COHb superan el 40%, el monóxido comienza a causar colapso neurológico y el colapso del sistema nervioso, y los niveles superiores al 60% pueden provocar la muerte (WHO, 2000).

b) Dióxido de azufre (SO₂)

Este gas está clasificado como irritante, con el potencial de inducir cambios en el revestimiento de la mucosa del ojo, así como en el tracto respiratorio. Las defensas del sistema respiratorio se ven comprometidas, lo que hace que las enfermedades cardiovasculares empeoren. Las personas con asma preexistente, dolencias cardíacas o enfermedades respiratorias crónicas se encuentran entre las más vulnerables a este contaminante (EMOV, 2020).

Siendo este un factor muy importante que provoca la lluvia ácida, acidificación de aguas superficiales, acidificación de suelos y corrosión de estructuras metálicas (Buitrago & Rojas, 2017). La broncoconstricción es un resultado común de la exposición al dióxido de azufre. Generalmente, las personas experimentan una reacción al SO₂ cuando se exponen a concentraciones de 5 partes por millón o más (Osorio et al., 2014).

c) Ácido Sulfhídrico (H₂S)

La sustancia conocida como ácido sulfúrico puede provocar irritación en los ojos, la nariz y la garganta si entra en contacto con ellos. Las personas que tienen asma pueden tener dificultad para respirar después de la exposición a este químico. La exposición a altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno durante un período breve (superior a 500 ppm) podría provocar la pérdida del conocimiento. Aunque la mayoría de las personas recuperan la conciencia sin más problemas, algunas pueden experimentar efectos a largo plazo o permanentes, como dificultad para concentrarse, pérdida de memoria, dolores de cabeza y deterioro de la función motora. Por otro lado, las concentraciones ambientales típicas de sulfuro de hidrógeno (0,0011 a 0,00033 ppm) no parecen tener efectos adversos para la salud de los seres humanos. Se han informado muertes por inhalación de grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno en una variedad de ocupaciones, incluidas las operaciones de aguas residuales, vertederos, plantas de tratamiento de lodos, extracción de petróleo o gas natural, estanques y agujeros negros (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2014).

d) Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})

Tanto niños como los ancianos se ven afectados por enfermedades respiratorias relacionadas con el PM_{10} , las infecciones respiratorias agudas y crónicas que afectan tanto a las vías respiratorias superiores como inferiores pueden incluso ser mortales. Tiene el potencial de entrar en los espacios alveolares o en la sangre, aumentando el riesgo de enfermedad cardiovascular crónica. También irrita las vías respiratorias, agrava el asma y pueden provocar la muerte prematura. Está relacionado con la silicosis o asbestosis, que provoca insuficiencia respiratoria a corto plazo y enfermedades crónicas a largo plazo como el cáncer (Torres, 2018).

e) Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$)

Las partículas que tienen un diámetro menor a 2.5 μm son aún más peligrosas porque logran llegar a las partes más pequeñas de los pulmones. Debido a su tamaño, el cuerpo no puede llevar a cabo su acción natural de limpieza, lo que puede requerir intervención quirúrgica para su eliminación (Tyler & Ramírez, 2013).

Las partículas más peligrosas son las finas porque se pueden inhalar por completo, ya que pueden ingresar a los pulmones y permanecer allí durante un periodo prolongado y pueden transportar sustancias químicas de alta toxicidad que pueden ser causante de cáncer, artritis reumatoide, ataques cardíacos y otras enfermedades más (Quijano et al., 2016).

Debido a que pueden viajar profundamente al pulmón y agravar enfermedades como bronquitis y el asma, las emisiones de partículas finas son motivo de preocupación porque podrían causar la muerte prematura en personas que ya tienen sistemas inmunológicos comprometidos. A pesar de que PM_{10} y $PM_{2.5}$ están fuertemente vinculados estadísticamente a tales efectos, no se ha identificado ningún mecanismo de acción (Gupta et al., 2020).

Sea establecido que la exposición a estas diminutas partículas puede aumentar el riesgo a desarrollar enfermedades respiratorias y afecciones cardíacas o pulmonares que pueden causar una muerte prematura. Además, estas diminutas partículas pueden entrar en los alveolos pulmonares más profundamente que las partículas con mayor diámetro, como el PM_{10} o partículas totales suspendidas (PST), y es posible que esto provoque más efectos negativos para la salud (Shi et al., 2015).

f) Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Los efectos de los COVs sobre la salud pueden variar mucho, debe ser extremadamente tóxicos hasta no tener efectos conocidos. El tipo de compuesto, la cantidad a la que se expone y la duración de la exposición afectarán estos efectos. Estos contaminantes pueden ingerir, inhalar o exponer a través del contacto con la piel. Los daños en el hígado, los riñones, el sistema nervioso central y el cáncer pueden resultar de la exposición prolongada a compuestos orgánicos volátiles (Montero & Alántara, 2019).

g) Óxidos de Azufre (SO_x)

El crecimiento de las plantas puede verse obstaculizado e incluso fatal en algunos casos debido a la presencia de óxidos de azufre en concentraciones moderadas durante periodos prolongados. El gas también actúa como irritante, dañando las arterias respiratorias superiores y provocando una disminución de la función pulmonar. La OMS ha establecido que la exposición a óxidos de azufre que excedan los 500 g/m^3 durante 24 horas puede resultar en desenlaces fatales, mientras que la morbilidad respiratoria puede ocurrir en ambientes con concentraciones de más de 250 g/m^3 . (OPS/OMS, 2005).

h) Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Provocan enfermedades respiratorias como: fibrosis pulmonar, bronquitis, neumonía, etc.; provocando irritación, reduce la resistencia a las infecciones respiratorias e inhibe el desarrollo de las plantas. Las bajas concentraciones de óxidos de nitrógeno presentes en el aire llegan a irritar los ojos, la nariz provocando náuseas y fatiga, si se inhala en altas concentraciones el óxido de nitrógeno puede causar quemaduras, espasmos y dilatación del tejido del cuello, lo que reducirá la saturación de oxígeno en los tejidos corporales, lo cual llevará a una retención de líquidos dentro de los pulmones y provocando así la muerte (Buitrago & Rojas, 2017).

i) Ozono (O₃)

Esta sustancia es capaz de causar daño a las hojas y tejidos de las plantas, reduciendo la fotosíntesis, retrasando el crecimiento y la reproducción, debilitando las plantas y aumentando su resistencia a enfermedades y plagas. Además, la reducción de la vegetación puede conducir a la pérdida del hábitat de la vida silvestre, lo que puede reducir la biodiversidad (Carranco & Salgado, 2012).

Cuando se expone al ozono durante breves intervalos, puede provocar inflamación en varias áreas del sistema respiratorio superior, como las cavidades nasales, la garganta y la laringe. Es vital reconocer que las consecuencias de la exposición a altos niveles de ozono pueden continuar afectando los pulmones y las unidades terminales bronquiales. Además, la investigación indica que la exposición al ozono puede estimular mutaciones en las células respiratorias, lo que desarrolla la probabilidad de desarrollar cáncer. (OPS/OMS, 2005).

j) Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

También puede contribuir a la eutrofización, que es el enriquecimiento de los nutrientes en los cuerpos de agua, lo que puede llevar al crecimiento excesivo de algas. El dióxido de nitrógeno también puede reaccionar con otros compuestos en la atmósfera para crear ozono y partículas finas (Carranco & Salgado, 2012).

k) Dióxido de Carbono (CO₂)

El efecto que genera el CO₂ es la asfixia por desplazamiento del oxígeno, pero se da a una concentración muy alta que puede desplazar al oxígeno y reducir en un 20% su baja concentración, y cuando se da a altas concentraciones cercanas a los 30.000 ppm, causando dolor de cabeza, dificultad para concentrarse, dificultad respiratoria y mareos; este gas no es tóxico pero es un gas de mucha importancia por atrapar del calor también llamado así efecto invernadero (Buitrago & Rojas, 2017).

2.5 Fuentes de contaminación antropogénicas

Existen básicamente dos tipos de fuentes antropogénicas (o fuentes de emisión) de contaminación del aire que son:

2.5.1 Fuentes móviles

Es una fuente de emisión que está sujeta a movimiento esto se debe a su uso o propósito, como por ejemplo los automotores o vehículos a motor de cualquier tipo. La principal causa son las emisiones producidas por los automóviles. Estas emisiones incluyen cantidades significativas de monóxido de carbono (Amaya et al., 2008). Es fundamental reconocer que el escape emitido por los automóviles contiene plomo y otros contaminantes peligrosos. Debido a esto, el mandato de regular las emisiones de los automóviles ha disminuido drásticamente la cantidad de contaminantes (Torres, 2018).

2.5.2 Fuentes fijas

Las fuentes de emisión son localizadas y estacionarias, aunque la descarga de los contaminantes se encuentra dispersas. Podemos decir que son aquellas que están en un punto fijo y que generan emisiones desde equipos fijos a través de chimeneas como, por ejemplo: las plantas de energía, industrias (manufactureras o de producción), refinerías de petróleo, vertederos (rellenos sanitarios), fábricas (ladrilleras artesanales), entre otros (Amaya et al., 2008).

2.6 Industria Ladrillera

Es uno de los sectores más importantes en la construcción, debido a la producción de ladrillos que son utilizados para la edificación de estructuras, sin embargo esta industria tiende a variar en escala y tecnología, puesto que presenta grandes desafíos ambientales, especialmente en lo que respecta a las emisiones de gases de efecto invernadero que genera diariamente provocando enfermedades respiratorias y también puede contribuir al cambio climático, por lo que se ha llevado a la búsqueda de prácticas más limpias y eficientes en la fabricación de ladrillos artesanales.

2.6.1 ¿Qué es la industria ladrillera?

La manufactura de los ladrillos se lo realiza manualmente, no hay un proceso estricto ni un control de calidad, y los miembros de la familia, trabajan en el equipo de fabricación de ladrillos. La arcilla y el agua se utilizan como materia prima y se mantienen al aire libre. La pasta se hace previamente, y el moldeo se hace allí mismo en el suelo. Según los ladrilleros el secado naturalmente toma hasta seis días, mientras que en 48 y 72 horas se demoran en cocinar. A escala nacional, la madera, el aserrín, el fuel oil, el diésel son empleados como combustible para la cocción del ladrillo (Giglo, 2021).

En el proceso de fabricación consta de varias etapas, entre una de ellas la actividad de cocción del ladrillo es la que más se destaca, ya que esta actividad es la que emite mayor cantidad de contaminantes al aire, por lo general, la madera se utiliza en este proceso, que dura alrededor de 26 horas (Hinojosa & Velasco, 2004).

2.6.2 Ladrillo

Al ladrillo se lo define como un fragmento de arcilla que ha sido moldeada y horneada en forma de rectángulo, el ladrillo es empleado tanto en la albañilería como en la construcción que se compone de arcilla o de tierra arcillosa, ocasionalmente se le adicionan otros insumos para que tenga mejor consistencia y dureza, este material no debe presentar grietas, nódulos o deformaciones. El uso de ladrillos ha evolucionado con el tiempo hasta convertirse en una industria vital para el desarrollo socioeconómico de una nación, al igual que la producción de ladrillos se ha vuelto más generalizada y sofisticada a nivel mundial. Sin embargo, hacer ladrillos de arcilla, que se compone de óxidos de sílice y otros materiales alcalinos, puede ser un desafío (Palomares, 2021).

2.6.3 Fases de fabricación de los ladrillos artesanales.

a) *Extracción y tratamiento de materia prima arcilla*

Las retroexcavadoras extraen la materia prima, que luego se carga en volquetas para posteriormente ser transportadas a la fábrica de ladrillos (Palomares, 2021). En la industria de la fabricación de ladrillos el material básico que se utiliza es la arcilla (**Figura 1**), como nos indica la norma INEN-0293, que especifica que los ladrillos deben ser de arcilla o barro, lo que permitirá la adición de otros materiales para así mejorar su plasticidad y consistencia, evitando así que se formen grietas y deformaciones en el acabado de los ladrillos (INEN, 2014).

Es crucial reconocer que la extracción de arcilla puede tener una influencia considerable en el medio ambiente y las sociedades cercanas. La excavación de arcilla puede tener consecuencias

negativas tanto para la calidad del aire, como para el paisaje y la biodiversidad de la región. Además, la minería puede tener un impacto en la salud y seguridad de los trabajadores y moradores del área. Esto se debe a que la mitad de las comunidades de la parroquia Sinincay han agotado sus reservas de arcilla, las cuales se utilizan para mezclar con otras arcillas provenientes de diferentes lugares. Como resultado de la explotación que se ha dado para obtener este producto, el 33% de las comunidades ya no tienen acceso a las minas de arcilla (Maza, 2011).



Figura 1: Materia prima arcilla.

b) Transporte de materia prima

Las volquetas cargadas con arcillas son depositadas y clasificadas según su tipo, para luego ser llevadas a la fase de molienda. La tierra almacenada en cavas es cargada en camiones y transportada a piletas impermeabilizadas para su procesamiento posterior. Este proceso puede implicar el uso de maquinaria pesada como palas mecánicas o retroexcavadoras para la carga y transporte de la tierra arcillosa (Palomares, 2021).

c) Molienda y mezclado de arcilla

El proceso de molienda se lo realiza de forma manual y consiste principalmente en seleccionar y moler piezas de arcillas (**Figura 2**) provenientes de la extracción de la misma, por lo cual primero se mezclan los ingredientes en seco, posteriormente se le va agregando agua para que se vaya formando la masa, para después ser colocadas en posas cavadas en el suelo, aquí el encargado de amasar la mezcla lo realiza de dos formar mediante el uso de cabezas de ganado o con mano de obra, en muchos casos esta actividad se lo realiza de manera familiar (Febres, 2017).



Figura 2: Molienda de arcilla.

d) Extrusión

La fase de extrusión (**figura 3**) es importante en la fabricación de ladrillos, ya que permite dar forma a la mezcla de arcilla de manera homogénea y eficiente. Además, el corte de los ladrillos a la longitud específica permite obtener piezas uniformes para su posterior uso en la construcción. El uso de motores diésel y eléctricos en estos procesos puede generar emisiones de gases contaminantes (Venegas, 2018).



Figura 3: Extrusión de la arcilla.

e) Cortadora

Después de cortar la mezcla a la forma deseada se podrá obtener ladrillos del mismo tamaño y forma deseado (**Figura 4**); la cortadora de ladrillos es una herramienta utilizada para obtener cortes precisos en los ladrillos (Palomares, 2021).



Figura 4: Corte de los ladrillos.

f) Secado

En la fase de secado se lo realiza al aire libre (**Figura 5**), generalmente en fábricas artesanales, y consiste en disminuir la humedad en el ladrillo crudo antes de que entren en el horno. Cabe señalar que si el proceso no es suficiente pueden presentarse fallas e imperfecciones en los ladrillos durante el proceso de secado, por lo que son reutilizados e incluidos en el proceso de molienda (Febres, 2017). Tal como se indica en la Figura 3.

En todos los talleres de ladrillos, el proceso de secado se logra de forma natural al disponer los ladrillos de manera adecuada, permitiendo que la ventilación natural los seque. El tiempo que

toma este proceso está fuertemente influenciado por el producto que se seca y el clima predominante. Puede tardar entre cuatro días y semanas en completarse. Los trabajadores cambian la posición de los ladrillos periódicamente para garantizar un secado óptimo y eliminar cualquier resto de humedad (Jaya & Vásquez, 2012).

Es importante destacar que en esta fase los ladrillos ingresan a una etapa crítica en la producción, ya que una mala ejecución del mismo puede resultar en ladrillos agrietados o deformados. Por esta razón, los talleres de ladrillos suelen contar con espacios específicos y adecuados para el secado, donde se pueden controlar factores como la humedad y la circulación de aire. También se puede utilizar maquinaria especializada para acelerar el proceso de secado, aunque esto puede aumentar los costos de producción.



Figura 5: Secado del ladrillo.

g) Cocción

Esta etapa es clave ya que la cocción de los ladrillos en hornos cuadrados o redondos (**Figura 6**); este tipo de hornos, y el combustible que se emplea para encender los hornos dependen en gran cantidad de lo que esté disponible en cada región; en algunas regiones suele utilizarse madera y carbón vegetal, pero también se puede aprovechar llantas viejas, aceites usados, desechos industriales y todos los desechos orgánicos que afectan el aire, provocando problemas sociales y de salud (Zambrano, 2018).



Figura 6: Horno de leña.

En esta etapa también son interesante los hornos en forma de túnel pues aquí el material secado y moldeado adquiere su consistencia final y sus propiedades físicas (Palomares, 2021).

El horno tiene la capacidad de contener 5000 ladrillos, pero este número se regula constantemente para garantizar que cada ladrillo se queme de manera uniforme, se coloca leña a través de perforaciones inferiores y se enciende con la asistencia de un soplete, el proceso de combustión es de 14 horas. Cuando la temperatura alcanza los 80 °C, se sella la entrada de leña y agregan aserrín mediante dos ventiladores, lo que eleva la temperatura deseada, después de quemar los ladrillos se deberá esperar 24 horas para poder extraer al aire libre y así puedan ser comercializados (Venegas, 2018).

Además, el uso de leña y aserrín como combustible puede provocar la deforestación. Como resultado, es imperativo que los fabricantes de ladrillos implementen prácticas sostenibles durante la producción. Estas prácticas sostenibles pueden incluir la adopción de tecnologías más limpias y eficientes, el reciclaje de desechos y el empleo de estrategias de gestión ambiental apropiadas (Jaya & Vásquez, 2012).

h) Comercialización

Para la comercialización de los ladrillos (**Figura 7**), estos son cargados y transportados mediante la provisión de camiones, para esta etapa los ladrilleros o dueños contratan obreros, o incluso la misma familia ayudan a cargar, descargar y trasladar el producto, en mucho de los casos, los productos vendidos son entregados a intermediarios, porque ellos están en contacto directo con el constructor a entregar y luego ser entregados en la obra (Reinoso, 2015).



Figura 7: Comercialización del ladrillo.

2.7 Producción de ladrillos en la actualidad en la ciudad de Cuenca

La producción artesanal de ladrillos es considerada una de las fuentes contaminantes muy importantes, con lo cual genera pobreza, mano de obra de hombres y mujeres y sobre todo de trabajo infantil, ya que esta actividad se da de manera familiar. La industria ladrillera (**Figura 8**) se encuentra en la mira de organizaciones ambientales, gobiernos locales, entre otras.



Figura 8: Ladrillera artesanal.

La fabricación manual de ladrillos es considerada es una fuente de emisión de contaminantes, lo que a su vez contribuye a la pobreza y la explotación laboral, especialmente del trabajo infantil, ya que esta actividad suele realizarse en el ámbito familiar. La industria de la producción de ladrillos es objeto de atención por parte de organizaciones ambientales y gobiernos locales, entre otros.

De acuerdo a Febres (2017), La arcilla es un material fácil de encontrar y se puede encontrar en todas partes, los depósitos de arcilla son comunes en zanjas, lechos de ríos y valles, también se pueden encontrar en tierras productivas utilizadas para el cultivo de productos agrícolas, causando problemas entre los agricultores y las fábricas de ladrillos, también destaca que los obreros que laboran en las ladrilleras demandan toda la mano de obra disponible y es aquí donde interactúan familias, hombre y mujeres e incluso niños menores de 6 años que aportan en este duro trabajo. Además, los contaminantes emitidos por los hornos provocan infecciones respiratorias, bronquitis, conjuntivitis y otras enfermedades en los humanos.

2.8 Contaminación provocada por la producción de ladrillos

La producción de ladrillos en América Latina depende en gran parte de métodos artesanales que utilizan hornos abiertos. Estos métodos representan el 40-50% de la producción de ladrillos de la región, pero son ineficientes y emiten altos niveles de contaminantes sin regulación. Estas pequeñas unidades de producción también están muy dispersas y son difíciles de monitorear. La mayoría de estas microempresas y pequeñas empresas son de propiedad familiar y producen productos artesanales. Estos negocios se caracterizan por tener bajos niveles de tecnología en sus procesos productivos, lo que en ocasiones puede atribuirse a factores socioculturales y en otras ocasiones a consideraciones económicas (Venegas, 2018).

Hoy en día se ha implantado maquinaria a gasolina para dar paso a nuevos mecanismos de producción lo que permitirá obtener de maneras más rápida los ladrillos, común mente el método más exigido tradicionalmente era usar animales como el ganado que los utilizaban para que compactara la mezcla y la masa para posteriormente ser llevada a moldes, el horno estaba construidos por los mismo ladrillos y barro, el combustible que se utiliza para la cocción del ladrillo es la madera y el carbón vegetal. Sin embargo, el uso de maquinaria también puede producir emisiones de gases contaminantes. Asimismo, es importante considerar los impactos de la transición a la maquinaria, ya que podría afectar el empleo de trabajadores y comunidades locales que dependen de la producción de ladrillos tradicional. Por lo tanto, es necesario buscar soluciones sostenibles que consideren los impactos de la producción de ladrillos.

La elaboración artesanal de ladrillos requiere de un bajo nivel de mecanización y mucha mano de obra, la fase de fabricación de los ladrillos de barro se desarrolla de forma manual, la parte principal del proceso es la etapa de cocción, donde los ladrillos son llevados a los hornos

artesanales, donde se utiliza como combustible la madera y el carbón vegetal, estos recursos generalmente son provenientes la misma región (Luján & Gúzman, 2015).

2.9 Gases contaminantes emitidos en la producción de ladrillos artesanales.

2.9.1 Contaminantes Primarios

a) *Monóxido de carbono (CO)*

Es un gas ligero causado por la incineración inconclusa de carbón presente en los combustibles, ya que son las principales fuentes fijas y móviles de combustión, siendo este transparente que no se percibe a nada, lo cual puede causar la muerte. Este gas se produce quemando combustibles tales como: gas natural, gas propano, gasolina (EMOV, 2020). Si bien el CO es un gas altamente constante que puede persistir en la atmósfera por un período de dos a cuatro meses, varios estudios indican que cuando las concentraciones superan las 750 partes por millón (ppm), puede provocar alteraciones fisiológicas y patológicas notables, y en algunos casos, incluso la muerte (Osorio et al., 2014).

Según la Téllez et al., (2006), aunque se produce de forma natural, la mayor parte del monóxido de carbono es generado por diversas actividades humanas, incluidos los procesos industriales, la ignición de vehículos a diésel o gasolina y la incineración de desechos orgánicos. Estas actividades representan alrededor del 80% de todas las emisiones.

b) *Dióxido de azufre (SO₂)*

Este gas en particular es incoloro y no es inflamable ni explosivo. Es capaz de producir una sensación de sabor cuando está presente en concentraciones que oscilan entre 260 y 860 µg/m³. El gas en cuestión se genera a través del proceso de oxidación de azufre de combustibles fósiles, es un gas muy irritante en altas concentraciones, lo que puede causar alteraciones en las vías respiratorias, irritar la mucosa ocular y agrava las enfermedades cardiovasculares, los grupos vulnerables a esta contaminación son: los infantes, los ancianos de la tercera edad, las personas que padezcan de asma (EMOV, 2021).

El contaminante atmosférico más significativo derivado del azufre es, sin duda, el SO₂, pero algunos procesos industriales también descargan trióxido de azufre, o SO₃, que también se produce en pequeñas cantidades en la atmósfera. La emisión de SO₂ resulta de la combustión de petróleo y carbón en centrales eléctricas que generan electricidad. La industria de refinación y fundición de metales, la producción de pulpa y papel y la obtención de ácido sulfúrico. La quema de combustibles fósiles en automóviles y camiones, que son omnipresentes en las zonas urbanas, también es una de las principales causas de la liberación de SO₂ (Alvarado, 1997).

c) *Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀)*

El PM₁₀, se compone de partículas grandes que tienen un diámetro de menos de 10 micrómetros. Estas partículas se forman cuando una masa más grande colapsa, causando que millones de partículas más pequeñas queden suspendidas en el aire. Debido a su dimensión, las partículas PM₁₀ tienden a asentarse velozmente y pueden perseverar en la atmósfera solo minutos u horas. Las partículas PM₁₀ son generadas por el polvo transportado por el viento, las emisiones de vehículos y maquinaria en carreteras sin tratar y otras fuentes, como industrias, actividades agrícolas y construcción. Además, los agentes biológicos, protozoos, virus, hongos, polen y esporas también entran en esta categoría (Rodríguez, 2019).

Estas partículas pueden ser emitidas tanto por fuentes móviles (como el tráfico de vehículos) como estacionarias (como las industrias y las centrales eléctricas). Es importante destacar que la mayor parte de la cantidad total emitida de PM₁₀, es decir, el 77,9%, procede del polvo. Además, las

quemadas agrícolas y el uso doméstico también pueden contribuir a la emisión de PM_{10} en un 3,7% y 3,3%, respectivamente. Estas partículas son preocupantes porque pueden penetrar en los pulmones y ocasionar perjuicios a la salud humana (Otoniel et al., 2019).

d) Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$)

Estas partículas generalmente se generan mediante el uso de combustibles fósiles y polvo. Se producen principalmente en la atmósfera debido a la presencia de gases. En tiempos de estancamiento atmosférico o cuando se transportan a larga distancia, se convierten en un fino aerosol. Esto conduce al fenómeno en el que, en ciertas regiones, la concentración de partículas más gruesas puede no ser tan uniforme como la de las partículas finas (Ministerio de agricultura, 2013).

Las partículas finas pueden provenir de una variedad de lugares, como plantas de energía, automóviles, aeronaves, quema de madera residencial, incendios forestales, quema agrícola, erupciones volcánicas y tormentas de polvo. Algunas de estas fuentes generan partículas finas directamente al aire, mientras que otras se forman como consecuencia de la interacción entre gases y partículas en la atmósfera (Otoniel et al., 2019).

e) Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Existen varios significados de los (COVs), una de las que más se utiliza es que cualquier compuesto de carbono, incluidos el monóxido de carbono, y otros que participan en la formación del ozono troposférico (EMOV, 2021).

Son compuestos orgánicos gaseosos o líquidos muy volátiles a temperatura ambiente y precursores del ozono troposférico, como los olores de los repelentes de insectos, polillas, pinturas, las lacas, entre otras. Su origen puede generarse de manera natural, también por las emisiones derivadas de actividades que realizan los seres vivos, como antropogénico, que a su vez tienen su origen en actividades relacionadas con el procesamiento de combustibles derivados del petróleo, de actividades industriales o el transporte. También podemos encontrar benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y el metano, este conjunto es conocido como BTEX y que forman parte del grupo de más de 1000 sustancias (Elena, 2016).

2.9.2 Contaminantes Secundarios

f) Óxidos de Azufre (SO_x)

El proceso de quemar carbón y ciertos derivados del petróleo da como resultado la producción de óxido de azufre, que describe un grupo de compuestos químicos caracterizados por la presencia de átomos (Samanez, 2020). Se ha descubierto que la mezcla de óxidos de azufre con partículas atmosféricas y humedad tiene efectos nocivos en la calidad del aire. Este tipo de contaminación atmosférica se produce principalmente por procesos de combustión industrial, calderas y vehículos que no realizan una combustión completa (Osorio et al., 2014).

La producción de lluvia ácida se debe en gran parte a la contaminación de los óxidos de azufre en la atmósfera. Las instalaciones de generación de energía representan la mayoría, o el 60%, de estas emisiones de SO_x . Además, las plantas petroquímicas, particularmente aquellas con unidades de craqueo catalítico fluido, también contribuyen a la liberación de SO_x a la atmósfera (Cuevas et al., 2003).

La vida de los óxidos de azufre en la atmósfera oscila entre dos a tres días, teniendo en cuenta las variables climáticas que se pueden generar durante la aparición de este óxido, en el que se puede intervenir procesos químicos que afecten su formación y originándose otros compuestos. Al hacer contacto directo con las personas pueden generar problemas leves en su respiración, sin

embargo esto se genera cuando existen altas concentraciones en su tiempo corto (Ministerio del Ambiente, 2004).

g) Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Las emisiones de NO_x se encuentran formadas de óxidos nítricos (NO), este es un gas incoloro y no tiene efectos desfavorables sobre la salud en concentraciones que se encuentren en la atmósfera, sin embargo, los óxidos nítricos se oxidan con facilidad en NO_2 y este puede llegar a generar efectos negativos como irritar los pulmones, causar pulmonía en incluso bronquitis, lo que generaría una baja resistencia a las infecciones respiratorias. Este contaminante se forma a partir de los procesos de combustión. El NO_x es un contaminante de suma importancia que influye en la calidad del aire. Esto se debe a que tiene un fuerte efecto irritante y puede ser extremadamente perjudicial en las mismas concentraciones. Además, tiene la capacidad de reaccionar con la humedad presente en la atmósfera, produciendo ácido nítrico (Osorio et al., 2014).

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando nitrógeno y el oxígeno se calientan a una temperatura lo suficientemente alta como para oxidar el nitrógeno, porque esta combustión hace que los compuestos de nitrógeno presentes en las moléculas de combustible y se pueden encontrar diferentes combustibles que contiene diferentes cantidades de nitrógeno como lo es el gas natural ya que este no posee ninguna y el carbón viene a tener el 3% de su peso. Si bien el NO_x térmico y el de combustión pueden aportar muy significativamente a las emisiones totales de NO_x , podremos obtener que el transporte aporta con el 57% de emisión, mientras que el 37% se por la combustión inmóvil del combustible (Gilbert & Wendell, 2018).

Este contaminante es uno de los principales responsables de la formación del smog fotoquímico y, junto con el dióxido de azufre, contribuyen a la lluvia ácida. Además, el NO_x reacciona con radicales libres para formar ozono troposférico, los cuales pueden reaccionar con el dióxido de cloro para formar el cloro activo que destruye la capa de ozono (Tyler & Ramírez, 2013).

h) Ozono (O_3)

Es un contaminante secundario formado por reacciones fotoquímicas entre contaminantes primarios y la luz solar, el ozono se forma con el tiempo en presencia de óxidos de nitrógeno (NO_x) y (COV) conjuntamente con la radiación solar durante un periodo de tiempo determinado. Es el oxidante fotoquímico más abundante y es el primero en ser desarrollado los estándares de calidad de aire, siendo responsable de muchas propiedades indeseables como el smog fotoquímico, ya que tiene un efecto negativo sobre el ser humano provocando la irritación de las membranas mucosas, la rotura de los productos de caucho y provocando daños en el medio ambiente, no es causante de irritación en los ojos (Gilbert & Wendell, 2018).

Si bien el ozono es un agente fotoquímico de suma importancia, se clasifica como un contaminante secundario debido a su ausencia en las emisiones atmosféricas directas. Más bien, se crea a través de reacciones químicas entre el óxido nítrico y los hidrocarburos no quemados que tienen lugar en la atmósfera en presencia de la luz solar. El ozono exhibe una propensión a reaccionar fácil y rápidamente con casi todas las sustancias que encuentra (Osorio et al., 2014).

i) Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

El sistema respiratorio puede verse afectado negativamente y la visión humana puede irritarse por los óxidos de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno, un subproducto de una reacción específica, se combina con los químicos producidos por la luz solar para crear ácido nítrico. Este proceso involucra una reacción química e, lo que resulta en la oxidación a dióxido de carbono. El nitrógeno, que es un gas sin color, es de origen antropogénico. (EMOV, 2021)

Peligroso contaminante que, por su toxicidad, es de carácter irritante y corrosivo, sus trascendentales fuentes son la quema de hidrocarburos y la producción de fertilizantes, los cuales son difíciles de lograr tener un control debido a que el 78% del aire que ingresa a los vehículos es nitrógeno. (Cueva, 2017).

j) Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que es más abundante en la atmósfera. Es uno de los gases que más impacto tiene en los humanos porque lo generamos en grandes cantidades al quemar combustibles fósiles para producir energía. Sin él, el planeta se convertiría en un páramo helado. Sin embargo, las cantidades excesivas de dióxido de carbono pueden provocar el efecto invernadero, que provoca una disminución de las emisiones de calor al espacio.

La industrial ladrillera genera emisiones de dióxido a través de dos procesos como, como la quema de combustible y la descomposición de los carbonatos utilizados en el proceso de fabricación. Los niveles de dióxido de carbono se han elevado significativamente en los últimos años, contribuyendo al calentamiento global (Zambrano, 2018).

2.10 Dispersión de los contaminantes.

Es la manera en que los gases producidos por fuentes móviles o fijas interactúan en el manto más bajo de troposfera, los elementos que influyen directamente en el traslado de contaminantes se clasifican en físicos y meteorológicos.

Entre los factores meteorológicos se encuentran:

- El viento, el cual arrastra los contaminantes del lugar de emisión, evitando concentraciones alarmantes en ella reas donde se encuentran las fuentes que generan la contaminación.
- La temperatura con su gradiente vertical es usada para analizar la estabilidad del aire, si la temperatura decae, el aire se vuelve voluble, lo cual provoca que la movilización de los gases se facilite, ya que, existen diferentes masas de aire, las cuales están condicionadas por la temperatura influenciando al movimiento descendente o ascendente de una capa.
- La turbulencia es la inconsistencia en los movimientos del viento, debido a que existen desplazamientos de ráfagas de aire que cruzan, provocando una dispersión de contaminante irregular y aleatorio (Steffen et al., 2015).

Los factores físicos que predominan en la dispersión de gases son los relieves naturales del terreno y las edificaciones que se encuentran en las ciudades, las cuales alteran la trayectoria del viento que buscan direcciones favorables como valles y terrenos planos dentro de las ciudades (PMGCA de Vitoria- Gasteiz, 2005).

Los contaminantes dependen del tiempo y espacio que tengan para moverse libremente por acción del viento, en su transporte se presentan dos procesos siendo estos químicos y físicos, este último tendrá a su favor los vientos, las nubes y la precipitación, mientras que los procesos químicos dan lugar a compuestos secundarios (Perniu & Manciulea, 2018).

a) Desplazamiento por el viento

La velocidad del viento y la ubicación geográficas son factores muy importantes que van a influencia en la dispersión de contaminantes, ya que, el viento puede arrastrar los contaminantes a grandes distancias y en diferentes direcciones, esto se debe a la velocidad y dirección del viento, esto se debe a que existen áreas donde el viento puede ser agresivo que otras. Además, la topografía de la zona también puede afectar la dispersión, ya que puede haber obstáculos que dificulten el movimiento del aire. Existen otros componentes que juegan un papel muy trascendental

como lo son la temperatura y la altitud, ya que pueden influir en la estabilidad del aire y en la formación de corrientes ascendentes o descendentes que afectan la dispersión de los contaminantes (Zaror, 2000).

b) Absorción por lluvia

Es un agente muy importante en la dispersión de contaminantes atmosféricos, dado que las partículas entran en contacto con la lluvia, pueden ser eliminadas por medio de la solubilización, la cual depende de la solubilidad del contaminante en el agua de lluvia. Sin embargo, algunos contaminantes no son solubles y pueden ser arrastrados por la lluvia y depositados en el suelo o en cuerpos de agua cercanos, lo que puede generar grandes problemas de contaminación ambiental. Además, la lluvia puede contribuir a la generación de nuevos contaminantes a través de reacciones químicas entre los contaminantes y otros elementos presentes en el ambiente, lo que puede generar contaminantes secundarios (Inche, 2004).

c) Procesos fotoquímicos

Los procesos fotoquímicos resultan de la formación o transformación entre compuestos que están presentes en la atmósfera, producidos por contaminantes secundarios nocivos como el smog fotoquímico y el ozono, que al mezclarse con otros gases pueden alcanzar niveles peligrosos que al dispersarse se mezclan con otros gases, convirtiendo los contaminantes del aire a volátiles y que pueden tener impactos negativos (Zaror, 2000).

2.11 ¿Qué son las estaciones fijas?

Las estaciones fijas son herramientas muy importantes para monitorear la calidad del aire mediante sensores de gases y partículas integrados al mismo, facilitando el registro de datos de un punto a otro, permitiendo obtener fuentes generadoras de contaminación y la evolución de los niveles de contaminación a medida que pase el tiempo. Debemos tomar en cuenta que el diseño de este dispositivo es pequeño y que en algunos casos pueden ser transportado por una persona o en otros casos por un vehículo, se debe tener en cuenta el valor de los registros desde el punto de partida de la contaminación y mejorar la confiabilidad de ICA, los registros se pueden proporcionar de dos maneras, al utilizar un almacenamiento de datos "microSD" o un transmisor que transmite los valores obtenidos en tiempo real, permitiéndonos a futuro tomar acciones preventivas y correctivas en tiempo real a los altos niveles de concentración que pueden existir en las ciudades.

2.11.1 Descripción de las estaciones fijas.

Las estaciones fijas de monitoreo son una herramienta de medición y registro de datos muy importante, ya que nos permitirá la calidad de aire existente en una zona, debemos tener en cuenta que su alcance y precisión pueden verse limitados por su ubicación. Estas estaciones están constituidas a partir de la conexión de componentes y sensores los cuales están calibrados por las curvas de sensibilidad que posee cada uno de los sensores los datos obtenidos por las estaciones fijas deben ser analizados de una manera muy cuidadosa para así obtener una comprensión completa de la calidad de aire de una zona determinada.

Luego de la calibración de las estaciones fijas y la verificación de la sensibilidad de los sensores, se realizó el monitoreo en cada uno de los puntos previamente identificados, se debe tener en cuenta la ubicación y otros componentes que afectan la calidad del aire, por lo tanto, la estación fija tiene la capacidad de registrar varios contaminantes, ya que contiene varios sensores que están conectados a su tarjeta de programación, por lo tanto es capaz de registrar una serie de contaminantes como:

- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)

- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Ozono (O₃)
- Material particulado 2.5 (MP_{2.5})

Es importante destacar que la confiabilidad y precisión de los datos obtenidos durante el monitoreo dependerán mucho de la calibración de los sensores y las estaciones fijas, así como de la revisión constante de los mismos.

2.12 ¿Qué es el Dron?

Los vehículos aéreos no tripulados son conocidos en inglés por la abreviatura UAS, que significa "sistema aéreo no tripulado". Aunque el UAS se desarrolló con fines militares a principios del siglo XX, es solo en la última década que su uso ha ganado un interés creciente y ha ganado popularidad rápidamente debido a su tamaño, forma y forma. rango de operación. Este tipo de tecnología proporciona información muy precisa a altos niveles y precios bajos en comparación con otras tecnologías, en comparación con otras tecnologías. Por lo tanto, el uso puede causar tiempo, trabajo y dinero (Mulero & Barasona, 2015). Además, los drones también tiene la ventaja de poder llegar a lugares de difícil o peligroso acceso para los seres humanos, como zonas montañosas, zonas remotas, bosques y zonas de riesgo de desastres naturales, lo que permitirá realizar tareas que serían imposibles sin drones, son aplicados en el ámbito de la conservación ambiental, el monitoreo de la biodiversidad, y muchos otros usos que contribuyen a la protección (Koh & Wich, 2012).

De hecho, los drones se han convertido en herramientas extremadamente útiles en muchas áreas, desde agricultura e inspección de infraestructura hasta seguridad y vigilancia. Por ejemplo, los drones se utilizan para tomar fotografías y videos aéreos, realizar mapas y modelos en 3D, inspeccionar líneas eléctricas y torres de telecomunicaciones, y más. Por otro lado, los drones terrestres se utilizan para la exploración y los estudios en terrenos de difícil acceso, y los drones submarinos son útiles para el estudio y muestreo de masas de agua. Además, los drones se pueden controlar de forma remota o autónoma, lo que les permite realizar tareas específicas sin intervención humana (Cabrera, 2021).

Estos son los más utilizados hoy en día. Se componen de varios motores autónomos en el borde del dispositivo (**Figura 9**). Suelen clasificarse en tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros según el número de motores. Su inconveniente es que consume mucha energía, normalmente entre 15 y 30 minutos para mantener el vuelo y la autonomía. Consisten en dos fuselajes principales montados en alas que permiten flotar y hélices de hélice que pueden ser eléctricas o combustibles (Pino, 2019).



Figura 9: Dron y sus diferentes componentes.

2.13 Tipos de sensores remotos

Las técnicas espectroscópicas tienen la capacidad de enviar un haz de luz a la atmósfera a una longitud de onda fija para calcular la energía absorbida. Esto proporciona mediciones integradas de varios componentes a medida que los contaminantes viajan a lo largo de una trayectoria en tiempo real. El resultado es la generación de mapas tridimensionales que muestran la concentración de contaminantes en un área específica durante un tiempo determinado (Cueva, 2017).

a) Sensores infrarrojos:

Son dispositivos que captan la radiación infrarroja que emiten los objetos o superficies calientes. Al medir la energía radiante infrarroja que es absorbida o reflejada por un objeto y captada por el sensor, estos sensores incluyen la identificación de gases y líquidos, detección de movimiento, seguridad y medición de temperatura. El espectro de luz visible oscila entre 400 y 800 nm, diferenciándolo así del espectro infrarrojo que tiene longitudes de onda más largas (Guimar et al., 2020).

b) Sensores RGB (Red, Green, Blue)

Son muy útiles para captar imágenes de alta resolución y crear mapas con información detallada, ya que proporcionan una imagen a todo color, lo cual es muy útil en aplicaciones de mapeo, inspección visual y monitoreo de la vegetación. Alternativamente, los sensores RGB se pueden usar para detectar cambios de color en la vegetación que podrían indicar la presencia de plagas, modelos de elevación del terreno, inspección visual y conteo de plantas (Guevara & Meza, 2020).

c) Cámara multispectral y niveles de espectros electromagnéticos.

Es una cámara de luz de hasta 6 bandas espectrales lo que permitirá ser utilizada para detectar anomalías en los cultivos, como enfermedades o plagas, y para identificar diferentes tipos de suelos y la presencia de contaminantes. Las imágenes multispectrales pueden calcular los diferentes índices de vegetación indicando así la salud y el bienestar de la vegetación, por ejemplo, el índice del NDVI, que significa normalized difference vegetation index, que permitirá calcular el vigor de la planta, también se puede utilizar en la cartografía y en la topografía donde se podrán obtener mapas de alta resolución de la vegetación y otros elementos geográficos (Cueva, 2017).

Los niveles de espectros electroquímicos (**Figura 10**) representan los diferentes estados de energía de los electrones en una reacción electroquímica. Estos niveles permitirán visualizar y proporcionar información muy importante sobre la cinética y la estabilidad de las especies químicas involucradas en la reacción, también permite visualizar los diferentes gases contaminantes generados por las industrias, el tráfico vehicular, entre otros (Ordóñez, 2012).

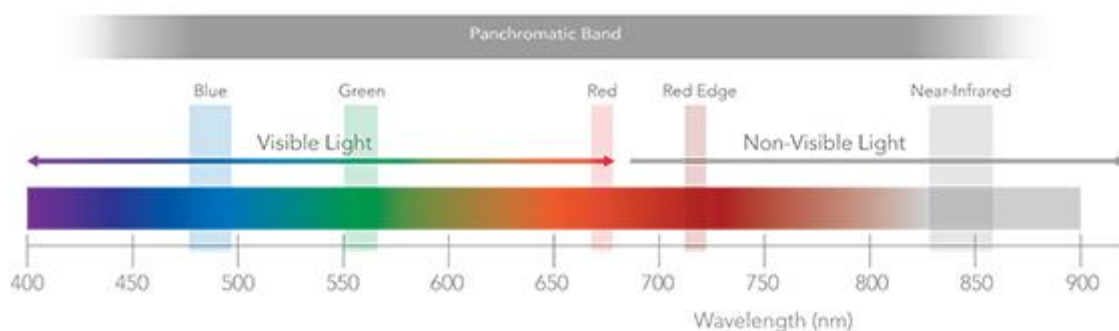


Figura 10: Niveles de espectros electromagnéticos

d) Sensores LIDAR

Son muy útiles en el campo forestal para la estimación de la biomasa y la estructura de la vegetación. Es un sistema que puede medir la distancia entre el sensor y puntos en el suelo, lo que permitirá capturar una serie de puntos y sus detalles de contacto, desde el momento en que el haz toca el suelo y regresa al sensor del dron. Este sensor se aplica mucho en el sector forestal, para adquirir información detallada sobre la altura, densidad, distribución de la vegetación, evaluación de incendios forestales o plagas (Orfanó, 2016).

Cámaras térmicas: permiten captar la radiación infrarroja emitida por los objetos y así detectar diferencias de temperaturas. La medición de la temperatura con cámaras térmicas ya se aplica en áreas donde cada pixel se le asigna un valor de temperatura, por ejemplo, se utiliza para contar nidos de orangutanes en las copas de los árboles, también se pueden detectar incendios forestales mediante focos de calor y su propagación en tiempo real, lo que permitirá una rápida intervención para su control (Guimar et al., 2020).

e) Sensores electroquímicos

Son dispositivos que utilizan reacciones electroquímicas para detectar la presencia de sustancias presentes en una muestra. Estos sensores son aplicados en la medicina, la industria, la protección ambiental entre otros, y funcionan a través de una serie de reacciones redox que se producen en el aire circundante (Raquel & Gaxiola, 2007).

Los diversos métodos analíticos que se pueden utilizar para "interrogar" al sensor químico se pueden categorizar en dos grupos: Hay dos tipos distintos de dispositivos de registro para reacciones electroquímicas: (a) dispositivos que únicamente detectan la corriente eléctrica que surge naturalmente de la reacción, y (b) dispositivos que necesitan la aplicación de una corriente eléctrica (Raquel & Gaxiola, 2007).

Con su alta sensibilidad, facilidad de miniaturización y asociación con herramientas de medición básicas al igual que los potenciómetros y los equipos de potenciometría, los sensores electroquímicos son herramientas sencillas que ayudan a adquirir datos. Su función principal es integrarse en el medio que se examina, donde tiene lugar el intercambio de cargas entre la sustancia que se estudia y el sensor (Gandía, 2014).

2.14 Teledetección

Es importante destacar que la teledetección no se limita solo a la observación de la superficie terrestre, sino que también se utiliza en otros planetas y cuerpos celestes. En el caso de la Tierra, la teledetección tiene aplicaciones en diversos campos como la agricultura, la gestión de recursos naturales, la valoración de riesgos ambientales, el monitoreo de cambios climáticos y la cartografía, entre otros. Además, la teledetección también puede ser utilizada en conjunto con (SIG) para la generación de mapas temáticos y la toma de decisiones en distintos ámbitos (Criollo, 2018).

La teledetección ahora se considera ampliamente como una herramienta práctica y valiosa para la investigación en muchos campos diferentes. Esto se debe a su capacidad de recolectar datos sobre las características físicas de objetos, cuerpos y recursos naturales a través de la observación y muestreo a distancia, sin contacto directo. Esencialmente, la teledetección es el procedimiento de deducir parámetros de la superficie midiendo la radiación (Alqurashi & Kumar, 2013).

Se han realizado estudios de calidad del aire para detectar contaminantes e identificar gases considerando sus características espectrales. Por ello es muy importante la teledetección ya que puede proporcionar estudios basados en entornos ambientales, porque contiene información que el ojo humano no puede percibir, su alta resolución espectral es útil para estudios ambientales (Martínez & López, 2010).

2.15 Imágenes multiespectrales

Se definen como arreglos de celdas llamados píxeles, con un número fijo de filas y columnas de las mismas celdas, definiendo regiones geográficas indivisibles y estableciendo características mínimas. Son detectados por los sensores del satélite, los sensores que orbitan el planeta. El tamaño de píxel depende de las mediciones del sensor de escena y del satélite. Consiste en datos numéricos y captura la proporción solar promedio que refleja una región; también es una función de lo que está en él (Criollo, 2018).

2.16 Índice de la Calidad del Aire (ICA)

El IQA, o Índice de Calidad del Aire, es una herramienta que se utiliza para informar o advertir sobre la calidad del aire a diario. Registra los valores de concentración obtenidos del seguimiento, que pueden medirse por días, semanas, meses o anualmente. Este índice nos ayuda a determinar si el aire es limpio o insalubre. El ICA, o Índice del Aire Contaminado, está especialmente preocupado por las repercusiones en la salud. La metodología de la EPA, establece rangos de calidad del aire en función del valor del ICA obtenido, se utiliza para el cálculo de los valores, los cuales deben tenerse en cuenta ya que se realizan de acuerdo a la normativa vigente de cada país, dado que los valores de la calidad se pueden expresar en ppm o $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el objetivo de este índice es facilitar la interpretación de estos valores (Colman et al., 2018).

2.16.1 Obtención del índice de calidad del Aire

El ICA se calcula por medio de una ecuación proporcionada por la EPA (**Ecuación 8**) que se aplica al registro de concentraciones de cada contaminante, donde se debe tomar en cuenta el rango en el que se encuentra cada uno considerando lo que se indica en la **Tabla 10**. Los valores registrados se miden de acuerdo a los rangos ya establecidos donde estos se dividen en 6 rangos quienes posee una relación de acuerdo a los valores registrados (U.S. Environmental Protection Agency, 2016)

2.17 Normativa legal

2.17.1 Código Orgánico del Ambiente

En la sección segunda del capítulo II perteneciente al título II de la constitución de la república denominada: Ambiente Sano, se menciona en el artículo 14 lo siguiente:

Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados

En el capítulo VII denominado: Derechos de la naturaleza en el artículo 74 se menciona que:

Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

En el capítulo II denominado manejo responsable del arbolado urbano en el artículo 152 del COA se menciona lo siguiente:

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales incluirán estas actividades en su planificación territorial como estrategias esenciales para disminuir la contaminación del aire y acústica, mejorar el microclima, fortalecer el paisaje y equilibrio

ecológico, apoyar al control de las inundaciones, mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse al mismo, favorecer la estética de las ciudades, promover oportunidades educativas ambientales, mejorar la calidad de vida, salud física y mental de los habitantes, entre otros.

En el capítulo V denominado calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos menciona los siguientes artículos:

El artículo 191 establece que:

Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Además, que el artículo 193 se menciona lo siguiente:

Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos.

El artículo 276, numeral 4 del título VI Régimen de desarrollo, menciona un objetivo primordial, que establece:

Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

En el artículo 397 del Título VII del capítulo II denominado: Naturaleza y ambiente se propone que:

En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

Numeral 3.- "Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente".

En el artículo 399 establece que:

El ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional

descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza;

Además, en el artículo 414 establece que:

El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

2.18 De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire

4.1.3.1 La Autoridad Ambiental de Aplicación responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia.

4.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada por el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda la concentración establecida en la (Tabla) o cuando se considere que las condiciones atmosféricas que se esperan sean desfavorables en las próximas 24 horas (MAE, 2017).

La siguiente **Tabla 2** explica la concentración de los contaminantes que definen los niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad de aire

Tabla 2: Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

Contaminante y periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de carbono			
Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono			
Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de nitrógeno			
Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de azufre			
Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Materia particulado PM_{10}			
Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Materia particulada $\text{PM}_{2.5}$			
Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

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

Fuente: (MAE, 2017).

2.19 Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente

4.1.2.1 Para los contaminantes criterio del aire, definimos en 4.1.1.1, se establece las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Autoridad Ambiental de Aplicación responsable acreditada en el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizara los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial (MAE, 2017).

Tal como se expone en la **Tabla 3** que presenta las normas generales de concentración de contaminantes.

Tabla 3: Norma de calidad del aire ambiente (NCAA).

Contaminante	Normativa vigente
Dióxido de Nitrógeno	Promedio anual: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio en 1 hora: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio anual: 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Azufre	Promedio en 24 horas: 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio en 10: 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado con diámetro menor a 10	Promedio anual: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio en 24 horas: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado con diámetro menor a 2.5	Promedio anual: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio en 24 hora: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono	Promedio en 8 horas: 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Promedio en 1 hora: 30000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono	Promedio en 8 horas: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: (EMOV, 2020).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Zona de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la parroquia Sinincay perteneciente a la ciudad de Cuenca, situada en la provincia del Azuay, a una altura de 2866 msnm, con un promedio en su temperatura de entre los 15 grados centígrados, la época lluviosa se presenta en los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre. En la **Figura 11** se muestra el lugar donde desarrollo la investigación relacionada a la calidad del aire en los sectores de influencia como San Luis de Lajas, Chorro, Sigcho y Dolorosa (PDOT Sinincay, 2015). La zona ladrillera y tejera tienen similares características, se encuentra ubicada en la periferia de la ciudad a una altura entre 2500-2600 ms.n.m.

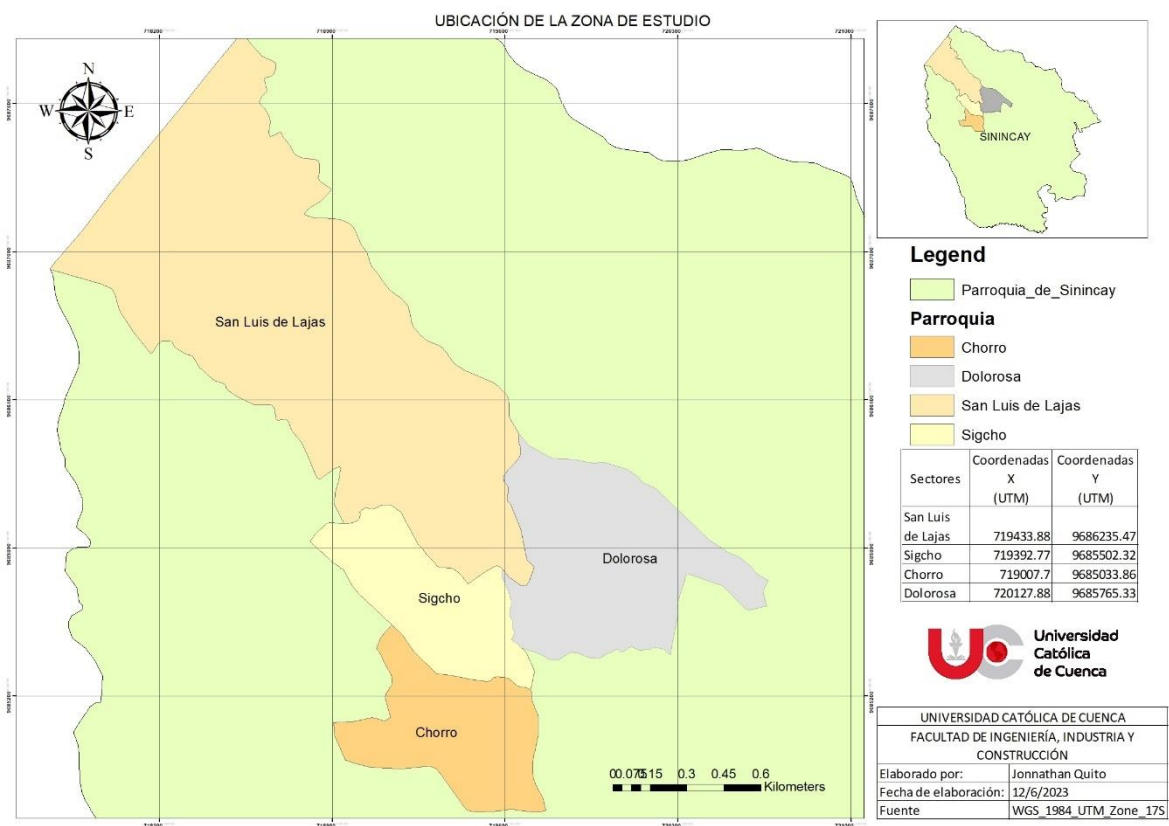


Figura 11: Delimitación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Establecimiento de las diez estaciones de monitoreo en los sectores de San Luis de Lajas, Chorro, Dolorosa y Sigcho aledaños a las ladrilleras artesanales presentes en estos sectores que se localizan en la parroquia de Sinincay como se muestra en el mapa de la **Figura 12**.

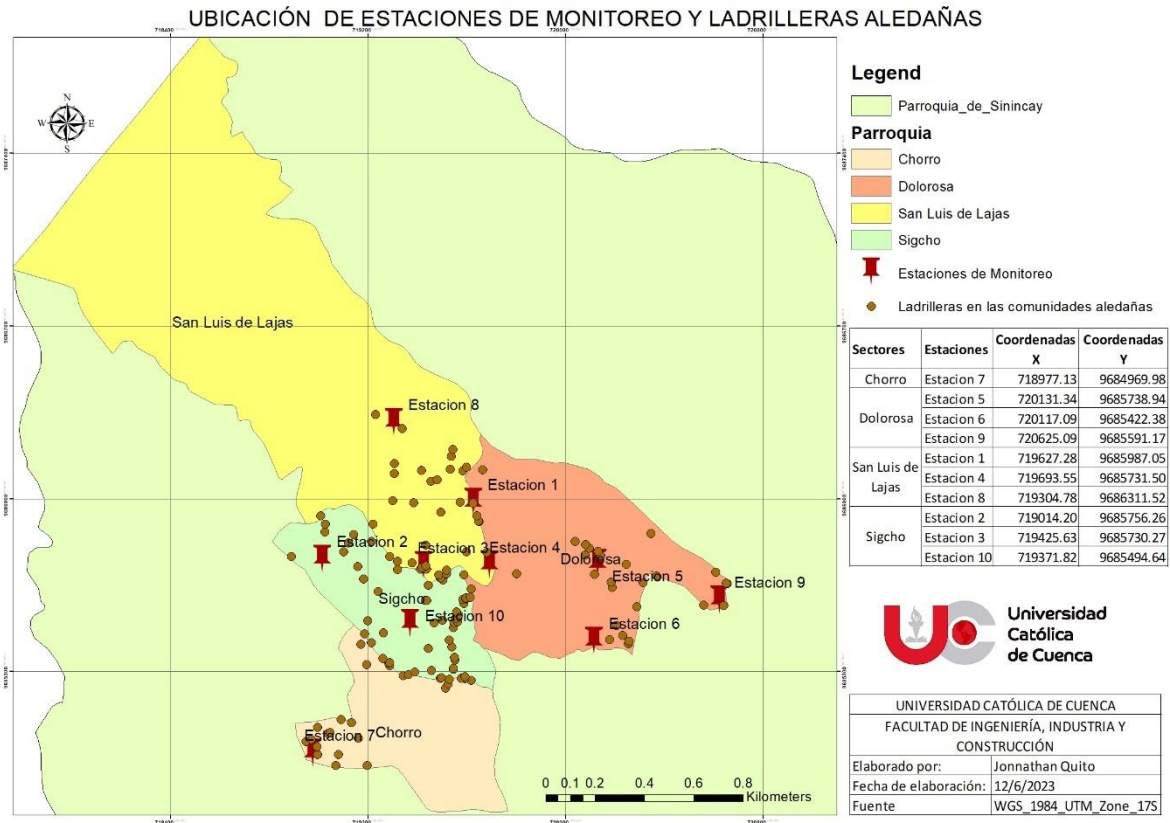


Figura 12: Ubicación de estaciones de monitoreo y ladrilleras artesanales.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Materiales e Insumos

3.2.1 Estación de monitoreo Fija

En la **Figura 13** se observa la estación de monitoreo fija que se utilizó para monitorear las concentraciones de los contaminantes en la zona de estudio.



a) Equipo con los sensores electroquímicos de bajo costo.

b) Parte frontal de la estación de monitoreo.

Figura 13: Estación fija para el monitoreo y obtención de la concentración de los gases.

La estación fue diseñada y fabricada en la Unidad Académica de Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca conjuntamente con la carrera de electricidad, el equipo cuenta con

seis sensores que tienen la capacidad de medir la concentración de contaminantes como: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Sulfuro de Hidrogeno (H₂S), Ozono (O₃) y Material Pariculado menor a 2,5 micras (PM_{2.5}), requiere de energía eléctrica y de acceso a internet para luego poder visualizar en la plataforma de Thingspeak los datos obtenidos de concentración de contaminantes por lo que fue necesario obtener el usuario y contraseña de los domicilios de las personas aledañas a las fábricas de ladrillos para colocar la estación fija. El equipo es liviano y debido a su tamaño no ocupa gran espacio lo que permitiera colocar en cualquier lugar que exista difícil acceso, su interfaz es accesible y el tiempo de monitoreo lo realiza en un tiempo establecido de cada 2 minutos.

a) Componentes

En la **Tabla 4** se exponen los distintos componentes que cuenta la estación para ser construida y fabricada.

Tabla 4: Componentes que está conformada la estación móvil.

Ítem	Descripción
1	Cargador de 16V 2Am
2	Borneras para cable utp
3	Cable con enchufe e interruptor
4	Cable de red 5E*
5	Capacitador electrónico 220 UF/50V
6	Cargador de batería lipo bms 18650 - 4 celdas
7	Diodos leds 5mm x20
8	Fuente de 24V a 20V
9	Fusible y porta fusible 3A
10	Juego de cables dupont macho- hembra 20 cm 40 pines
11	Memoria micro sd
12	Mini interruptor 2 pines
13	Módulo indicador de nivel de batería
14	Módulo lector memoria micro sd
15	Módulo reductor de voltaje
16	Pareja conectora de voltaje corriente terminal
17	Peineta hembra 40 pines idc*
18	Placa perforadora doble lado 3x7 cm
19	Plug dc plástico 2,5 mm
20	Porta pilas 4x18650
21	Resistencia 220 ohm 1/4w

Fuente: Elaboración propia.

b) Sensores

En la **Tabla 5** se identifican los diferentes tipos de sensores que se usaron para que la estación pueda registrar las concentraciones de cada contaminante en la zona de estudio que está comprendida entre San Luis de Lajas, Chorro, Dolorosa y Sigcho.

Tabla 5: Sensores que conforman la estación fija.

Ítem	Descripción
1	Módulo gsm/gprs sim900
2	Módulo sensor de amplificación micrófono y sonido / cjmcu9612
3	Módulo sensor de CO ₂ / mg-811
4	Módulo sensor de humedad y temperatura/ dht-22
5	Módulo sensor de índice uv/vem6070
6	Módulo sensor de ozono / mq131
7	Módulo sensor de polvo / pm2.5
8	Módulo sensor de sulfuro de hidrógeno / mq 136
9	Arduino mega 2560 r3/cable usb

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Herramientas

- Estación fija
- Computadora
- Celular
- Drone DJI Matrice 300 RTK
- Cámara Multiespectral

3.2.3 Insumos

- Extensiones eléctricas
- Cuaderno

3.2.4 Calibración de los sensores electroquímicos de bajo costo.

La calibración de la estación fija se la llevo a cabo en la Unidad Académica de Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca, donde inicialmente se calibraron los sensores que se utilizaron durante el progreso del trabajo de investigación como el CO, CO₂, NO₂, O₃ y PM_{2.5}.

3.2.5 Metodología aplicada

3.3 Primer objetivo: Cuantificación de los contaminantes atmosféricos generados en la fabricación de ladrillos artesanales, mediante estaciones fijas e imágenes multiespectrales para establecer los niveles de concentración de los mismos.

Para cumplir con el primer objetivo se procedieron a colocar las estaciones fijas en los lugares ya identificados y delimitados que se encuentran alrededor de las fábricas de ladrillos con sus respectivas coordenadas como se muestra en la **Tabla 6**. Estas estaciones se encuentran equipadas con sensores electroquímicos de bajo costo que permitirán medir los diferentes contaminantes atmosféricos tales como: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Material Particulado menor a 2,5 micras (PM_{2.5}). Estos sensores registraron las concentraciones de los contaminantes en un periodo determinado de tiempo, el cual generó datos que nos permitieron ser analizados.

Tabla 6: Coordenadas de las estaciones fijas para el monitoreo.

Sectores	Estaciones	Coordenadas X (UTM)	Coordenadas Y (UTM)
Chorro	Estación 7	718977.13	9684969.98
	Estación 5	720131.34	9685738.94
Dolorosa	Estación 6	720117.09	9685422.38
	Estación 9	720625.09	9685591.17
San Luis de Lajas	Estación 1	719627.28	9685987.05
	Estación 4	719693.55	9685731.50
	Estación 8	719304.78	9686311.52
Sigcho	Estación 2	719014.20	9685756.26
	Estación 3	719425.63	9685730.27
	Estación 10	719371.82	9685494.64

Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes multiespectrales que se obtuvieron utilizando el dron DJI Matrice 300 RTK, que se encuentra equipado con una cámara llamada Altum-PT sincroniza bandas multiespectrales térmicas y sus rangos como se muestra en la **Tabla 7**, permitiéndonos obtener una alta resolución espacial y obtener así información muy valiosa sobre la calidad de aire y la distribución de los contaminantes, pues estas imágenes capturan diferentes longitudes de ondas de luz, lo que nos permitirá identificar y mapear los contaminantes atmosféricos y analizar los datos.

Tabla 7: Bandas multiespectrales y sus rangos.

Bandas Espectrales	Rangos
Blue	(475 nm centro \pm 32 nm)
Green	(560 nm centro \pm 27 nm)
Red	(668 nm centro \pm 14 nm)
Red Edge	(717 nm centro \pm 12 nm)
Near-IR	(842 nm centro \pm 57 nm)
Thermal Flir LWIR	(7.5 μ m - 13.5 μ m)

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de las estaciones fijas y el análisis de las imágenes multiespectrales nos permitirán obtener una perspectiva más amplia y completa de los contaminantes atmosféricos que se generan en la producción de ladrillos artesanales, siendo de gran utilidad la información obtenida para posteriormente evaluar el impacto ambiental e identificar áreas que presenten una alta concentración de contaminantes, lo que permitirá tomar medidas correctivas para disminuir las emisiones y mejorar la calidad del aire.

3.4 **Segundo objetivo:** Comparación de los datos de detección de gases entre sensores electroquímicos de bajo costo e imágenes multiespectrales mediante el uso del programa Rstudio para establecer si las imágenes multiespectrales son una alternativa para el monitoreo de los contaminantes.

3.4.1 Recopilación de datos:

Se obtuvieron satisfactoriamente los datos recopilados de los sensores electroquímicos y de las imágenes multiespectrales durante el estudio mediante la plataforma Thingspeak como se muestra la siguiente **Figura 14**. Por lo que los datos obtenidos partir de los sensores electroquímicos deben incluir las mediciones de los diferentes gases de interés en el presente estudio, conjuntamente con el periodo de tiempo que se realizó el estudio. Las imágenes multiespectrales obtenidas deben estar disponibles en formato digital y a su vez contener la información sobre las diferentes longitudes de onda capturadas.



Figura 14: Plataforma Thingspeak

3.4.2 Tabulación de datos:

Para la tabulación de los datos se descargaron los mismos mediante la plataforma Thingspeak como se muestra la siguiente **Figura 15**, en formato CSV para luego ser utilizado mediante el programa Excel para limpiar y ordenar los datos y darle el siguiente formato como la fecha, el día, la zona, la estación y los diferentes contaminantes (CO, CO₂, NO₂, O₃ y PM_{2.5}); para posteriormente ser importados al programa Rstudio.

Figura 15: Exportación de datos obtenidos durante el monitoreo en formato CSV.

3.4.3 Importación de datos a Rstudio:

Los datos obtenidos de los sensores electroquímicos obtenidos en el monitoreo tabulados y listos fueron importados al programa Rstudio, con lo cual se utilizaron funciones adecuadas para leer el archivo de Excel en formato CSV para luego ser almacenados, como dataframes o matrices.

3.4.4 Análisis de datos obtenidos durante el monitoreo de los sensores electroquímicos y las imágenes multiespectrales:

Se procedió a analizar los datos de los sensores electroquímicos para obtener una visión general de las mediciones, luego de ello se procedió a efectuar el cálculo estadístico de la siguiente manera:

- Utilizando Kolmogorov-Smirnov Tests (Ks.test) que es una prueba estadística utilizada para valorar si una muestra de datos procede de una distribución específica o si dos muestras proceden de la misma distribución, lo cual proporcionara información similar o diferente entre las distribuciones de los datos (Feller, 1948); procedimos a realizar el análisis con cada contaminante.

Ecuación 1

$$ks.test(data\$CO, y = 'pnorm', alternative = 'two.sided')$$

- Luego de ello procedimos a realizar los boxplots de cada zona y con cada contaminante para hallar la media; ya que con cada representación gráfica nos permitirá obtener información sobre cómo están distribuidos nuestros datos.

Ecuación 2

```

boxplot(data$CO ~ data$Zona, outline = F,
        ylab = "CO ppm", xlab = "", las = 1, xaxt = 'n', cex.lab = 1.1)

```

- Aplicando la corrección de Bonferroni mediante la función `dunnTest` del paquete R que es una prueba estadística utilizada para comparar los múltiples grupos independientes y así determinar si existe diferencias significativas entre ellos en términos de una variable específica (Chambers et al., 2018); entre la zona, el contaminante y con cada estación obteniendo como resultado un boxplot de cada uno .

Ecuación 3

```

cod <- dunnTest(data$CO ~ data$Zona, method = "bonferroni")
boxplot(data$CO ~ data$Estacion, outline = F, ylab = "CO ppm", xlab = "", las = 1)

```

- Se desarrollaron Anovas de las estaciones para conocer la relación que hay entre cada estación y los contaminantes, utilizando la función `Anova` (`aov`) que nos permitirá establecer si hay una diferencia significativa entre las diferentes estaciones; a su vez también se aplicó la función `TukeyHSD` (Tukey's Honest Significant Difference) que nos permitirá identificar que grupos son significativamente diferentes entre sí (Feller, 1948).

Ecuación 4

```

COas <- aov(data$CO ~ data$Estacion)
summary(COas)
#perform Dunn's Test with Bonferroni correction for p - values
COts <- TukeyHSD(COas, conf.level = .95)
COts
par(mar = c(2,5,0.1,1))
par(mfrow = c(1,1))
plot(COts, las = 1, cex.axis = .8)

```

- Finalmente se procedió a efectuar el análisis final de la zona y las estaciones con relación a cada contaminante monitoreado utilizando el comando `ggplot` que es una librería que permite visualizar los datos, mientras que el paquete `ggpubr` nos permitirá crear gráficos estadísticos atractivos y personalizados estos dos comandos nos aportarán con la visualización más eficiente y efectiva de ver los resultados.

Ecuación 5

```

co1 <- data %>%
  ggplot(aes(x = Date, y = CO, color = Zona, group = Zona)) +
  geom_smooth(method = "gam", se = T, size = 0.5, na.rm = FALSE) +
  # facet_grid(DivLinea~.) +
  # scale_y_sqrt() +

```

```

theme_bw() +
  theme(
    plot.background = element_blank(),
    panel.grid.major = element_blank(),
    panel.grid.minor = element_blank()) +
  theme(legend.position = "none") +
  #scale_x_datetime(
    # date_breaks = "24 hour",
# labels = date_format("%H: %M\n%b%d")) +
    # labels = date_format("%b\n%d")
    # ) +
  labs(x = "", y = "CO (ppm)", color = "Zona") +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5, hjust = 1))
  #theme(axis.text.x = element_blank()) +
#geom_vline(xintercept = (co$Date[c(4000,14000,23000,33000,43000)]), linetype
= "longdash",
  # color = "black", size = 1)

```

Para el análisis de las imágenes multiespectrales y extracción de la información de cada banda espectral para elaborar los mapas se procedió a utilizar Rstudio utilizando los siguientes cálculos estadísticos:

- Primeramente, para el análisis de las ortofotos tomadas con el dron procedimos a instalar la librería Raster que nos permitirá la manipulación de los datos, el análisis espacial, la visualización de los datos en forma de cuadrículas o píxeles y el modelo y análisis de datos raster, permitiéndonos realizar el análisis de las siete bandas multiespectrales de nuestra zona de estudio.

Ecuación 6

```
Library(raster)
```

```
TOTAL <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS
/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif") #load raster, first band (red, g = 508
```

```
TOTAL@file
```

```
b1 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 1) #Blue (475 nm center, 32 nm bandwidth)
```

```
b2 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 2) #Green (560 nm center, 27 nm bandwidth)
```

```
b3 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 3)#Red (668 nm center, 14 nm bandwidth)
```

```
b4 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 4)#Red edge (717 nm center, 12 nm bandwidth)
```

```
b5 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 5)#Near - IR (842 nm center, 57 nm bandwidth)
```

```
b6 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 6)#load raster, third band (swir1, g = 363)
```

```
b7 <- raster("/home/Documents/LADRILLERAS/Sinincay_Ortofoto_7Bands.tif", band
= 7)#load raster, first band (swir2, g = 423)
```

- Luego de ello se procedió a efectuar el análisis de correlación entre las diferentes bandas con la finalidad de identificar patrones relacionadas con los contaminantes obteniendo un modelo especial, aplicando técnicas en Rstudio para detectar y mapear áreas de alta concentración de contaminantes en nuestra zona de estudio.

Ecuación 7

```
pairs((bk[, c("b1k", "b2k", "b3k", "b4k", "b5k", "b6k", "b7k")]),
upper.panel = panel.cor, lower.panel = panel.smooth, cex.labels = 1.3)
cor(b1k, b7k)
length(data$CO[data$Estacion == c("E3", "E4", "E10")])
str(data)
hist(data$CO[data$Estacion == c("E3", "E4", "E10")])
ks.test(data$CO, y = 'pnorm', alternative = 'two.sided')
gmCOM <- glm(data$CO[data$Estacion =
= c("E3", "E4", "E10")] ~ b1k + b2k + b3k + b4k + b5k + b6k + b7k,
family = quasipoisson)
summary(gmCOM)
gmCOp <- glm(data$CO[data$Estacion =
= c("E3", "E4", "E10")] ~ b1k * b2k * b3k * b4k * b5k * b6k * b7k,
family = quasipoisson)
summary(gmCOp)
AIC(gmCOM, gmCOp)
```

3.4.5 Comparación y evaluación de los datos:

Para finalizar se procedió a ejecutar la comparación cuantitativa y cualitativa de los datos conseguidos a partir de los sensores electroquímicos y las imágenes multiespectrales para evaluar la correlación entre los resultados obtenidos con ambos métodos por medio de bandas

multiespectrales. Considerando así los factores como la resolución espacial y temporal. Para ello se trabajó con las coordenadas de las estaciones fijas para extraer los datos de cada uno para posteriormente realizar un dataframe para eliminar la pancromática de la banda 6 y la banda 7 para trabajar con la banda 1 (Blue), banda 2 (green), banda 3 (red), banda 4 (red edge) y banda 5 (near-IR) para realizar la correlación entre ellos y poder saber que bandas están correlacionadas obteniendo que b1 se correlaciona con b2k y b3k: b4 se correlación con la b2k y b3k y la banda que se escogió fue la banda 1 y banda 5 como se muestra en la (**Figura 52**), para realizar el modelo se trabajó solo con el PM_{2.5} porque se puede ver polvo y la imagen puede tomar y porque sobre todo el material particulado es el principal factor de impacto de las ladrilleras.

En la **Tabla 8** se observa la relación que hay entre la banda1k y banda 5k donde se procedió a realizar un summary para obtener que la relación cuadrática entre b1k y b5k es marginal de 0,05. Por lo tanto, se trabajó con el 80% de los datos teniendo como resultado que es marginal que nos indica que si hay una situación y con el 20% de los datos también nos indica que es marginal para poder comprobar los datos.

Tabla 8: Coeficientes entre bandas multiespectrales y los sensores electroquímicos de bajo costo.

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t	Pr(> t)
(Intercept)	1.545e+00	3.451e-01	4.476	7.66e-06 *
B1k	1.630e-04	7.154e-05	2.278	0.0227 *
I(b1k^2)	-8.781e-09	3.889e-09	-2.258	0.0240 *
b5k	-2.020e-05	1.305e-05	-1.548	0.1215
I(b5k^2)	5.021e-10	2.726e-10	1.842	0.0655.

Signif. codes: 0 '**' 0.001 '*' 0.01 '.' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia.

- **Tercer objetivo:** Establecimiento de los niveles de contaminación de los gases estudiados mediante el análisis comparativo con la norma vigente, para verificar su cumplimiento.

3.4.6 Comparación con los límites máximos permisibles de la Normativa Legal Vigente:

Analizar los límites máximos permisibles establecidos en la normativa legal vigente como se indica en la **Tabla 9** para cada contaminante para posteriormente comparar las mediciones de los gases recopilados en el estudio realizado y así poder conocer si los niveles de contaminación cumplen con la normativa legal vigente.

Tabla 9: Norma de calidad del aire ambiente (NCAA)

Contaminante	Normativa vigente
Dióxido de Nitrógeno	Promedio anual: 40 µg/m ³
	Promedio en 1 hora: 200 µg/m ³
Dióxido de Azufre	Promedio anual: 60 µg/m ³
	Promedio en 24 horas: 125 µg/m ³
Material particulado con diámetro menor a 10	Promedio en 10: 500 µg/m ³
	Promedio anual: 50 µg/m ³
Material particulado con diámetro menor a 2.5	Promedio en 24 horas: 100 µg/m ³
	Promedio anual: 15 µg/m ³
Monóxido de Carbono	Promedio en 24 hora: 50 µg/m ³
	Promedio en 8 horas: 10000 µg/m ³
Ozono	Promedio en 1 hora: 30000 µg/m ³
	Promedio en 8 horas: 100 µg/m ³

Fuente: (EMOV, 2020).

3.4.7 Aplicación de la Metodología EPA para la obtención del índice de calidad del aire (ICA).

Para obtener los valores del ICA para cada contaminante se aplicó la siguiente **Ecuación 8**, descrita a continuación:

Ecuación 8: Formula de la determinación del ICA.

$$I_p = \frac{L_{HI} - L_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} * (Cp - BP_{LO}) + L_{LO}$$

En donde:

I_p = Índice de calidad del aire para el contaminante p

Cp = Concentración observada del contaminante p

BP_{HI} = Punto de corte de concentración mayor o igual a Cp

BP_{LO} = Punto de corte de concentración menor o igual a Cp

L_{HI} = Valor del Ica correspondiente al BP_{HI}

L_{LO} = Valor del Ica correspondiente al BP_{LO}

Fuente: (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018).

En la siguiente **Figura 16** se puede identificar los valores que se deben considerar con respecto a la concentración de cada contaminante antes de aplicar la fórmula de la EPA para la valoración del índice de calidad del aire ICA.

Categoría	Rango ICA	CO (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Nivel deseable u optimo	0-50	0-5000	0-62.5	0-100	0-50	0-25	0-50
Nivel aceptable o bueno	51-100	5001-10000	63.5-125	101-200	51-100	26-50	51-100
Nivel de precaución	101-150	10001-15000	126-200	201-1000	101-200	51-150	101-250
Nivel de alerta	201-300	15001-30000	201-1000	1001-2000	201-400	151-250	251-400
Nivel de alarma	301-400	30001-40000	1001-1800	2001-3000	401-600	251-350	401-500
Nivel de emergencia	401-500	>40000	>1800	>3000	>600	>350	>500

Figura 16: Límites permisibles de contaminación atmosférica del ICA.

Fuente: (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018).

3.4.8 Análisis y reporte de los resultados obtenidos:

Finalmente se procedió a cumplir el análisis de la comparación y evaluación para conocer si los niveles de contaminación de los gases se encuentran dentro los límites establecidos por la normativa legal vigente y conocer si los niveles de contaminación cumplen con la misma, ya que si los niveles de contaminación exceden los mismos, es importantes identificar áreas de mayor influencia que contribuyen a la contaminación y tomar posibles medidas correctivas para así poder reducir las emisiones de contaminación a futuro.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cuantificación y concentración de contaminantes en las estaciones ubicadas en la zona de estudio.

En la **Figura 17** se presenta que en los cuatro sectores los niveles de emisión de CO expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no representa la misma concentración, ya que no son iguales entre sí, obteniendo como resultado que, la más alta se identifica en el sector del Chorro con una mediana de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la más baja es el sector del Sigcho con una mediana de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

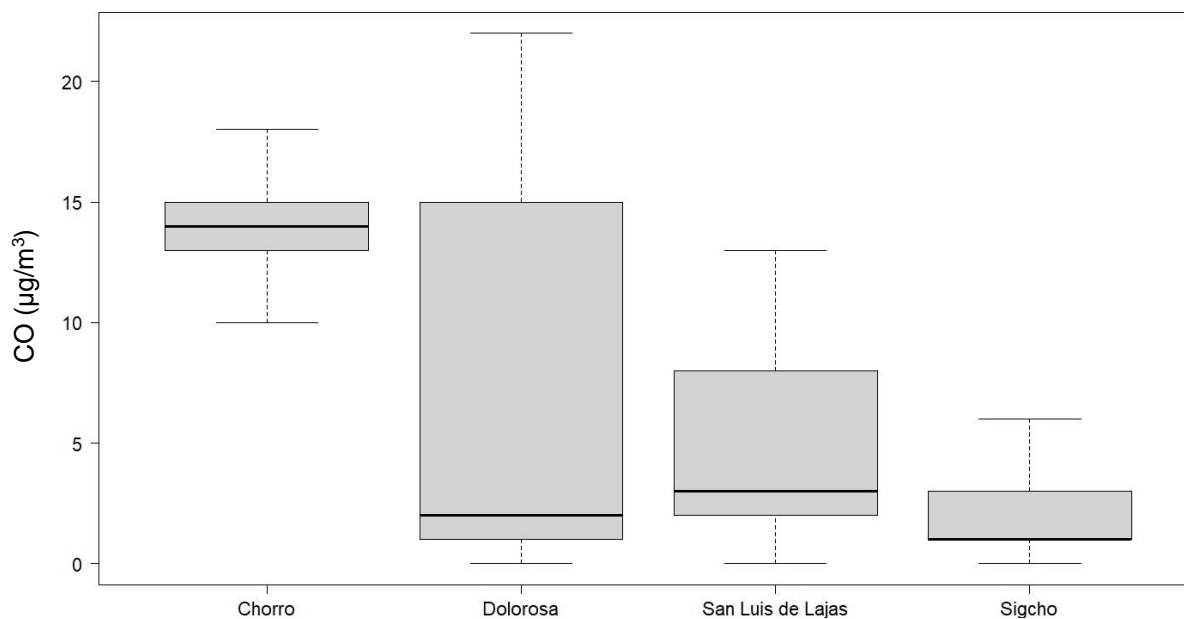


Figura 17: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sectores de estudio.

En la **Figura 18** se muestra que de acuerdo al comportamiento en el tiempo el CO en los sectores no son los mismos, ya que tiende a presentar picos altos y picos bajos, mientras que en el caso de la Dolorosa los valores han sido constantes.

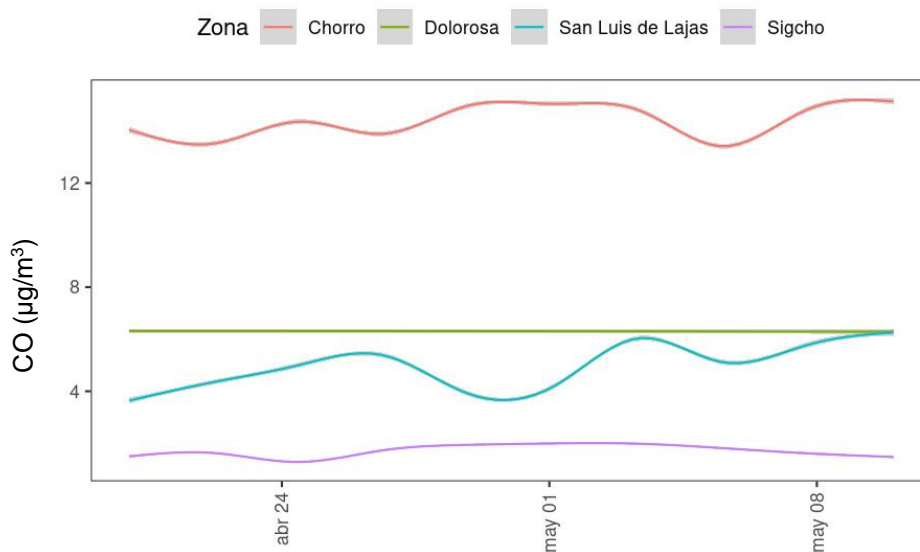


Figura 18: Comportamiento del nivel de concentración del CO durante los días de monitoreo por sector.

En la **Figura 19** se identifica el comportamiento del CO a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija E1, los niveles de concentración no presentan picos alto ni bajos hasta el 4 de mayo, luego el nivel de concentración aumenta exponencialmente hasta el 6 de mayo, y finalmente llega a su nivel más alto de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta el final del monitoreo; en la estación fija E2, los primeros días de monitoreo se mantiene constante hasta el 24 abril y a partir de ahí aumenta hasta llegar a su pico más alto el 28 de abril con un valor de 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para posteriormente disminuir paulatinamente hasta un valor 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en la estación fija E3, no se evidencia la tendencia a aumentar y disminuir en el periodo del monitoreo; en la estación fija E4, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 28 de mayo baja hasta 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para posteriormente aumentar y disminuir hasta el 8 de mayo con un valor de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en la estación fija E5, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 28 de abril tiende a disminuir hasta 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y aumenta su a valor 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 6 de mayo, para posteriormente disminuir hasta finalizar el monitoreo; en la estación fija E6, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 30 de abril disminuye hasta 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para posteriormente aumentar su concentración el 8 de mayo hasta 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en la estación fija E7, la estación fija E8, en la estación fija E9, los niveles de concentración presentan tendencias a aumentar y disminuir durante el monitoreo y finalmente, en la estación fija E10, los primeros días de monitoreo alcanza su pico más alto y disminuye a un valor de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para posteriormente mantenerse constante a lo largo del tiempo.

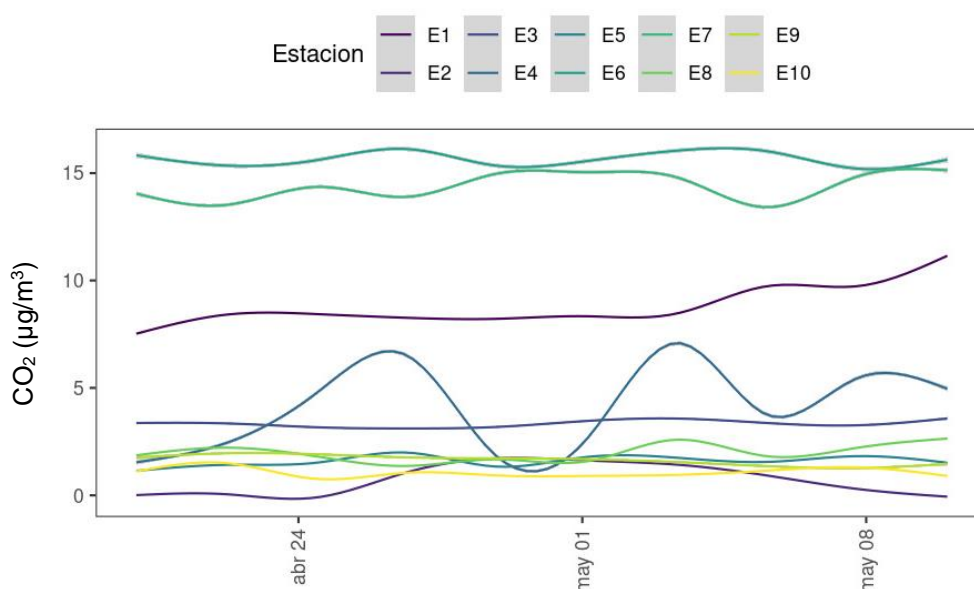


Figura 19: Comportamiento del nivel de concentración del CO durante los días de monitoreo por estación fija.

En la **Figura 20** se muestra que en los cuatro sectores los niveles de emisión de CO₂ expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no representa la misma, ya que no son iguales entre sí, obteniendo como resultado que, la más alta se identifica al sector de San Luis de Lajas con una mediana de 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la más baja es el sector de la Dolorosa con una mediana de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

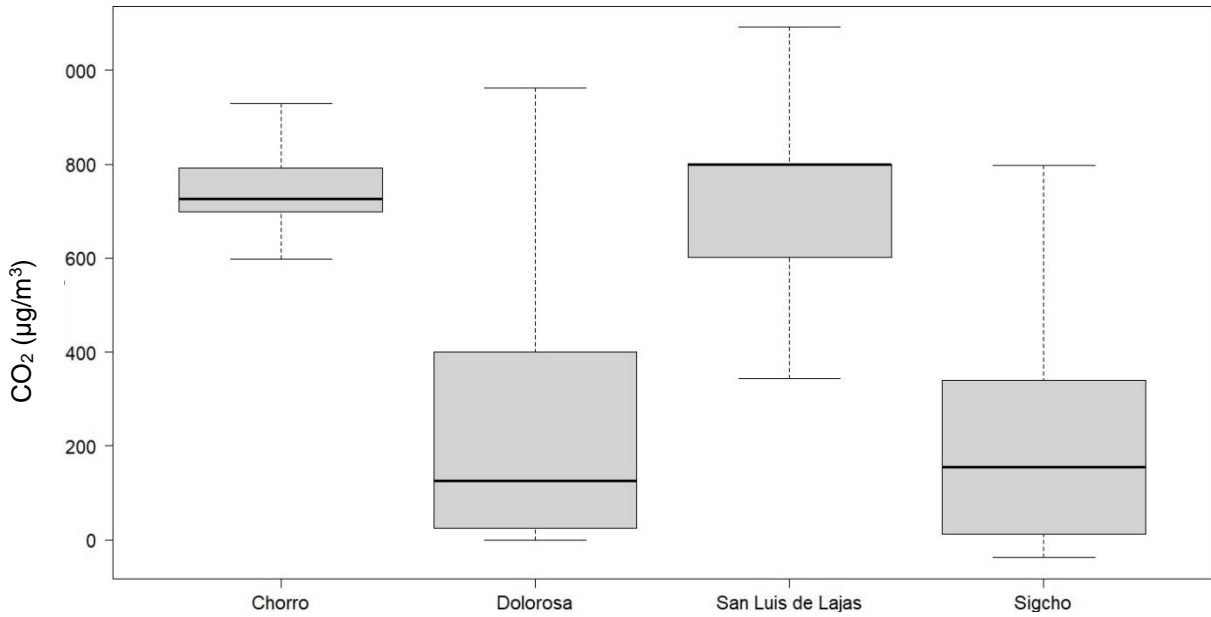


Figura 20: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO₂ (µg/m³) en los sectores de estudio.

En la **Figura 21** se observa que de acuerdo al comportamiento en el tiempo el CO₂ en los sectores no son los mismos, los niveles de concentración no presentan variaciones, en los sectores del Chorro, La Dolorosa y San Luis de Lajas, mientras que en el caso del Sigcho los valores han presentado picos altos y picos bajos de concentración.

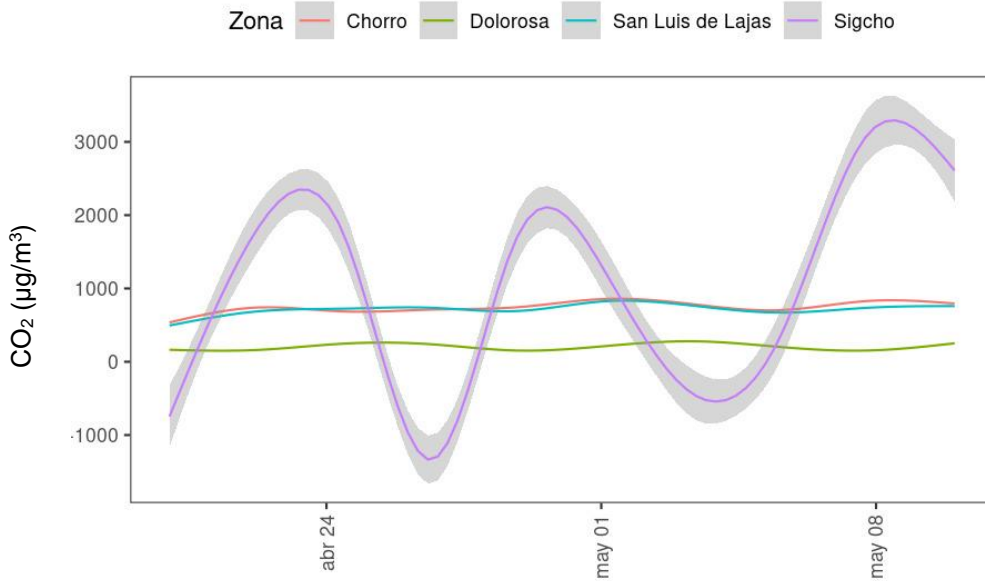


Figura 21: Comportamiento del nivel de concentración del CO₂ durante los días de monitoreo por sector.

En la **Figura 22** se identifica el comportamiento del CO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija E1, en la estación fija E2, en la estación fija E4, en la estación fija E5, en la estación fija E6, en la estación fija E7, en la estación fija E8, en la estación fija E9, el nivel de concentración se mantiene constante a lo largo del monitoreo, en la estación fija E3, los primeros días de monitoreo alcanza su punto alto de concentración y a partir del 24 de abril baja hasta -5000 ug/m³, para posteriormente aumentar y disminuir hasta llegar su punto más alto de concentración el 8 de mayo de 10000 ug/m³ y finalmente, en la estación fija E10, el nivel de concentración se mantiene constante a lo largo del monitoreo.

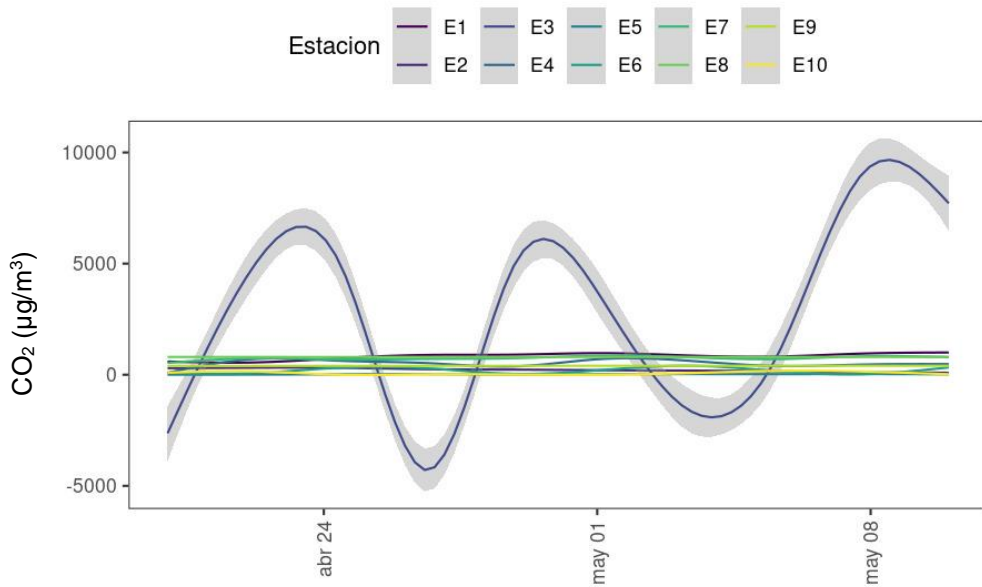


Figura 22: Comportamiento del nivel de concentración del CO₂ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.

En la **Figura 23** se muestra que en los cuatro sectores los niveles de emisión de NO₂ expresados en ug/m³ no representa la misma concentración, ya que no son iguales entre sí, obteniendo como resultado que, la más alta se identifica al sector del Chorro con una mediana de 19 ug/m³, mientras que la más baja es el sector del Sigcho con una mediana de 7 ug/m³.

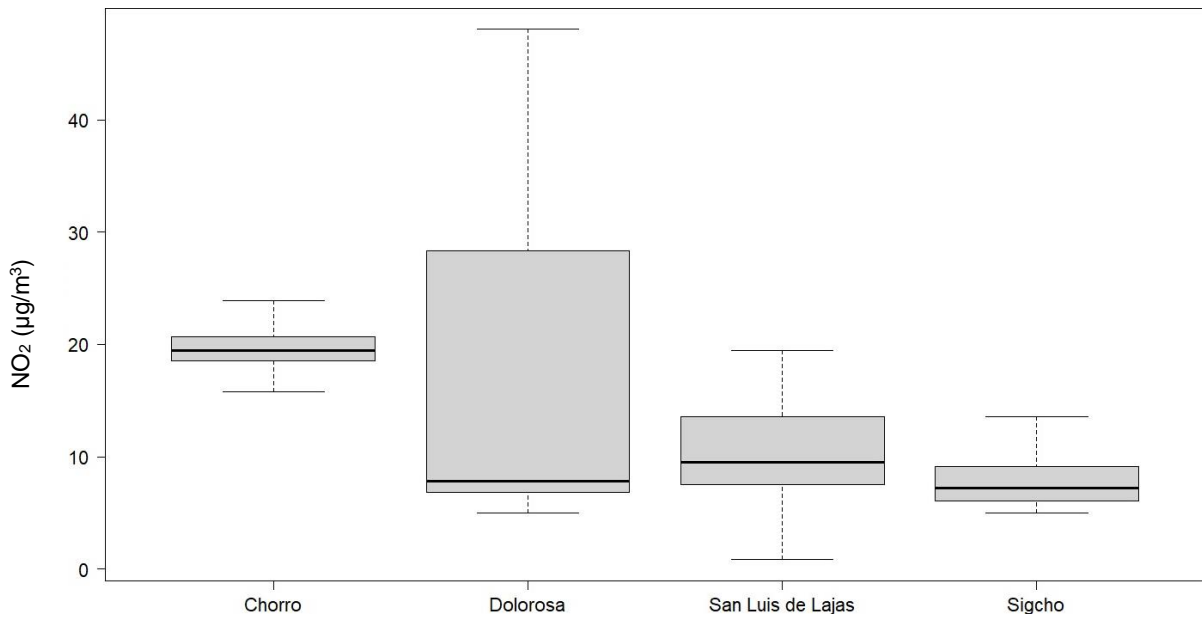


Figura 23: Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO₂ (µg/m³) en los sectores de estudio.

En la **Figura 24** se identifica que, de acuerdo al comportamiento en el tiempo, el NO₂ en los sectores no son los mismos, ya que tiende a presentar variaciones en el caso de los sectores como el Chorro, la Dolora y San Luis de Lajas, mientras que en el caso del Chorro la concentración ha decrecido a lo largo del tiempo.

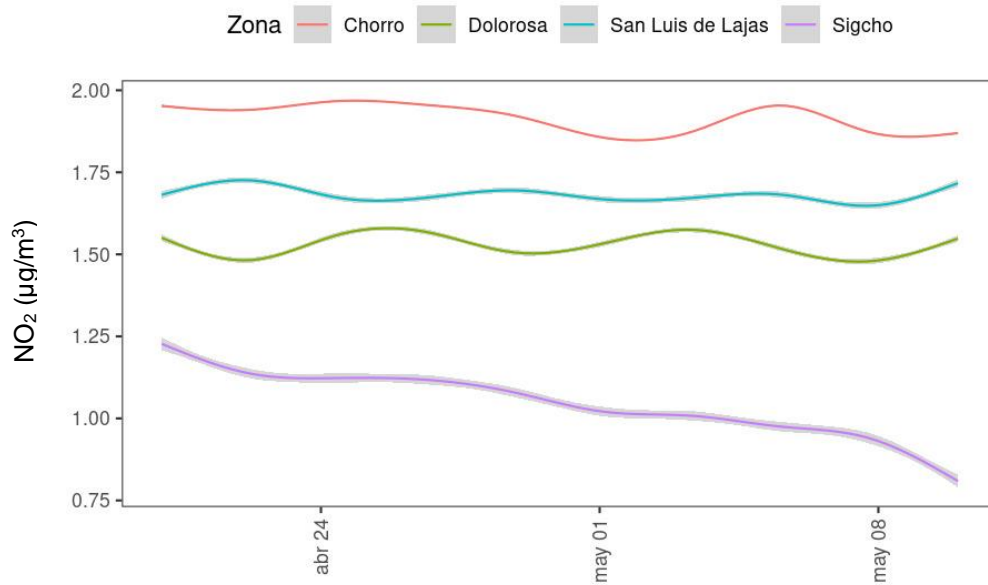


Figura 24: Comportamiento del nivel de concentración del NO₂ durante los días de monitoreo por sector.

En la **Figura 25** se observa el comportamiento del NO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija E1, los niveles de concentración los primeros días fue aumentando exponencialmente llegando a su punto más alto de 13 ug/m³ hasta finalizar el monitoreo; en la estación fija E2, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración hasta el 29 de abril, para posteriormente disminuir hasta 2 ug/m³ hasta finalizar el monitoreo; en la estación fija E3, los primeros días de monitoreo aumenta exponencialmente hasta finalizar el monitoreo hasta alcanzar su punto más alto de concentración; en la estación fija E4, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 27 de abril disminuye hasta 6 ug/m³ y posterior a ello tiende a aumentar y disminuir hasta el final del monitoreo; en la estación fija E5, los primeros días de monitoreo disminuye la concentración hasta 29 ug/m³ y a partir del 25 de abril aumenta y disminuye hasta el 3 de mayo alcanza su punto más alto de concentración el 6 de mayo hasta 33 ug/m³; en la estación fija E6, se puede evidenciar que no hay picos altos ni bajos manteniéndose constante hasta finalizar el monitoreo, y finalmente en la estación fija E7, en la estación fija E8, en la estación fija E9, en la estación fija E10, el nivel de concentración se mantiene constante a lo largo del monitoreo.

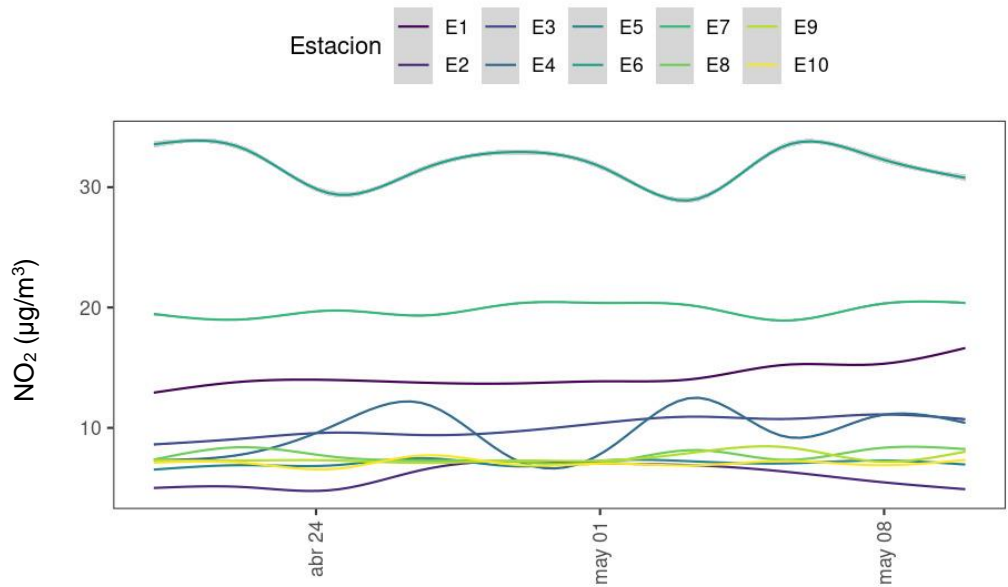


Figura 25: Comportamiento del nivel de concentración del NO₂ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.

En la **Figura 26** se divide que en los cuatro sectores los niveles de emisión de O₃ expresados en ug/m³ no representa la misma concentración, ya que no son iguales entre sí, obteniendo como resultado que, la más alta se identifica al sector del Sigcho con una mediana de 0.2 ug/m³, mientras que la más baja es el sector del Chorro con una mediana de 0 ug/m³.

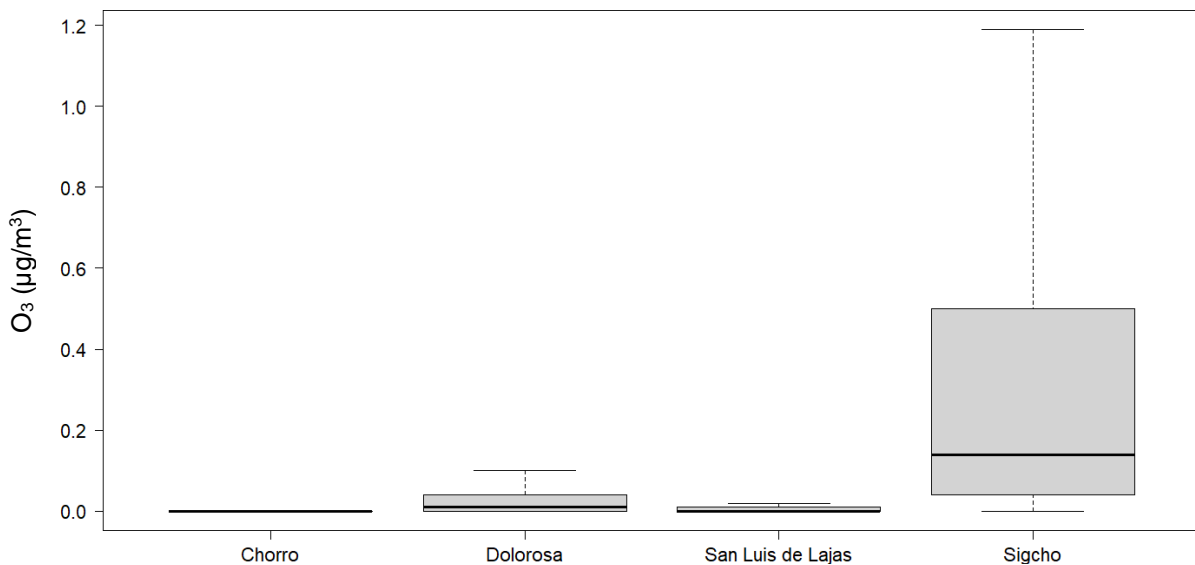


Figura 26: Diagrama de cajas con los niveles de concentración del O₃ (µg/m³) en los sectores de estudio.

En la **Figura 27** se divide que de acuerdo al comportamiento en el tiempo el O₃ en los sectores no son los mismos, ya que tiende a presentar picos altos y picos bajos, mientras que en el caso de la Dolorosa y el chorro los valores han sido constantes.

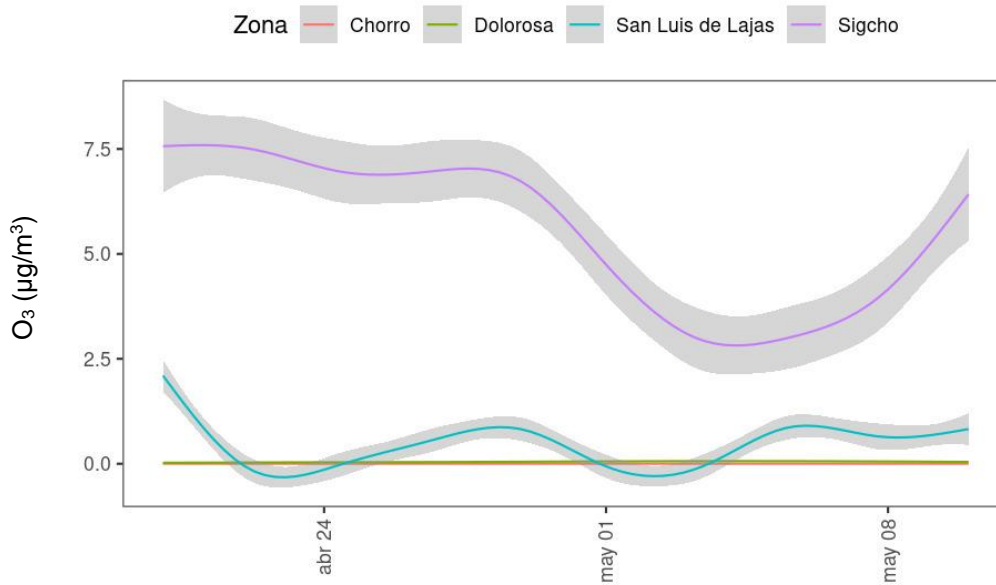


Figura 27: Comportamiento del nivel de concentración del O₃ durante los días de monitoreo por sector.

En la **Figura 28** se observa el comportamiento del O₃ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija E1, los niveles de concentración los primeros días disminuyen exponencialmente hasta el 5 de mayo donde el nivel de concentración aumenta hasta llegar a su punto más alto de 12 µg/m³ hasta el final de monitoreo; en la estación fija E2, los primeros días de monitoreo aumenta el nivel de concentración alcanzando su punto más alto de concentración el 10 de mayo con un valor de 1 µg/m³; en la estación fija E4, los primeros días de monitoreo disminuye la concentración y a partir del 27 aumenta a un valor de 2 µg/m³ y posteriormente tiende a disminuir y aumentar hasta llegar a su punto más alto de 4,5 µg/m³; en la estación fija E10, los niveles de concentración los primeros días aumentan exponencialmente hasta el 28 de abril y a partir de ahí el nivel de concentración disminuye hasta el 5 de mayo con un valor de 5 µg/m³; y finalmente, en las estaciones fijas E3, E5, E6, E7, E8, E9, el nivel de concentración se mantiene constante a lo largo del monitoreo.

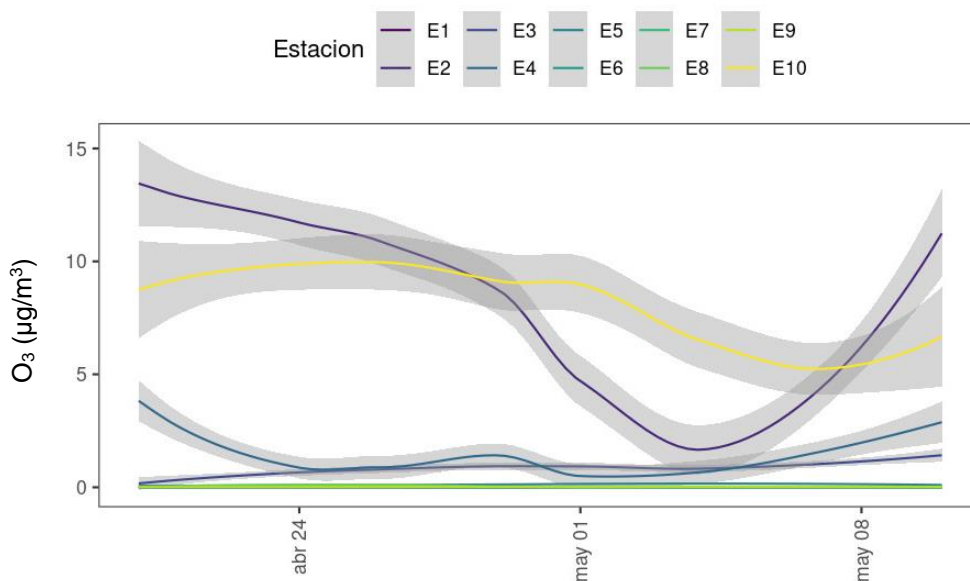


Figura 28: Comportamiento del nivel de concentración del O₃ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.

En la **Figura 29** se identifica que en los cuatro sectores los niveles de emisión de $PM_{2.5}$ expresados en $\mu g/m^3$ no representa la misma concentración, ya que no son iguales entre sí, obteniendo como resultado que, la más alta se identifica al sector de la Dolorosa con una mediana de $8 \mu g/m^3$, mientras que la más baja es el sector del Chorro con una mediana de $5,8 \mu g/m^3$.

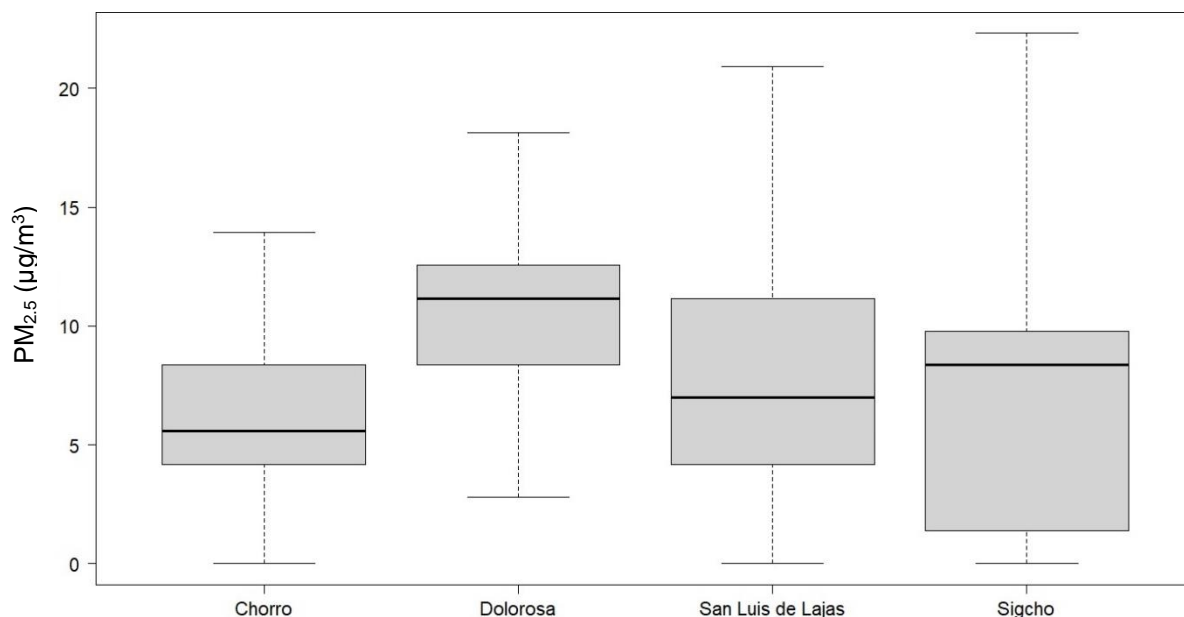


Figura 29: Diagrama de cajas con los niveles de concentración del $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en los sectores de estudio.

En la **Figura 30** se visualiza que de acuerdo al comportamiento en el tiempo del $PM_{2.5}$ en los sectores no son los mismos, ya que tiende a presentar picos altos y picos bajos, mientras que en el caso del Sigcho los valores han ido decreciendo en el transcurso del tiempo.

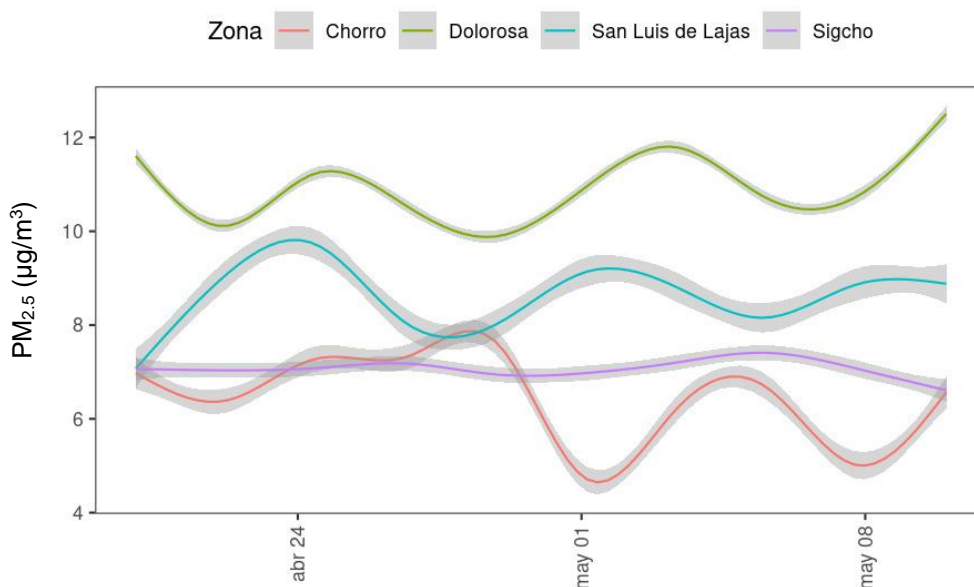


Figura 30: Comportamiento del nivel de concentración del $PM_{2.5}$ durante los días de monitoreo por sector.

En la **Figura 31** se visualiza el comportamiento del $PM_{2.5}$ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija E1, los niveles de concentración aumentan hasta el 24 de abril y posteriormente disminuye y aumenta llegando a su pico más alto de $10 \mu g/m^3$ el 1 de mayo luego de ellos disminuye hasta $7 \mu g/m^3$; en la estación fija E2, los primeros días de monitoreo disminuye

la concentración hasta 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y a partir del 28 de abril aumenta 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose constante hasta el final; en la estación fija E3, los primeros días de monitoreo disminuye la concentración hasta 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y a partir del 28 de abril aumenta hasta 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose constante entre 8 y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en la estación fija E4, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 25 de mayo baja hasta 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para posteriormente aumentar y disminuir durante el monitoreo entre 11 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en la estación fija E5, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración hasta 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y a partir del 25 de abril baja hasta 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose en constante crecimiento y decrecimiento a lo largo del monitoreo; en la estación fija E6, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración hasta 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y a partir del 25 de abril baja hasta 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose en constante crecimiento y decrecimiento a lo largo del monitoreo; en la estación fija E7, los primeros días de monitoreo la tendencia disminuye y aumenta hasta 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y a partir del 28 de abril baja hasta 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y posteriormente a ello aumenta y disminuye durante el monitoreo; en la estación fija E8, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 23 de abril baja hasta 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para posteriormente a ello se mantiene aumentando y disminuyendo durante el monitoreo; en la estación fija E9, los primeros días de monitoreo aumenta la concentración y a partir del 23 de abril se mantiene constante entre 12 y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y finalmente, en la estación fija E10, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 23 de abril baja hasta 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para posteriormente aumentar y disminuir paulatinamente durante el monitoreo.

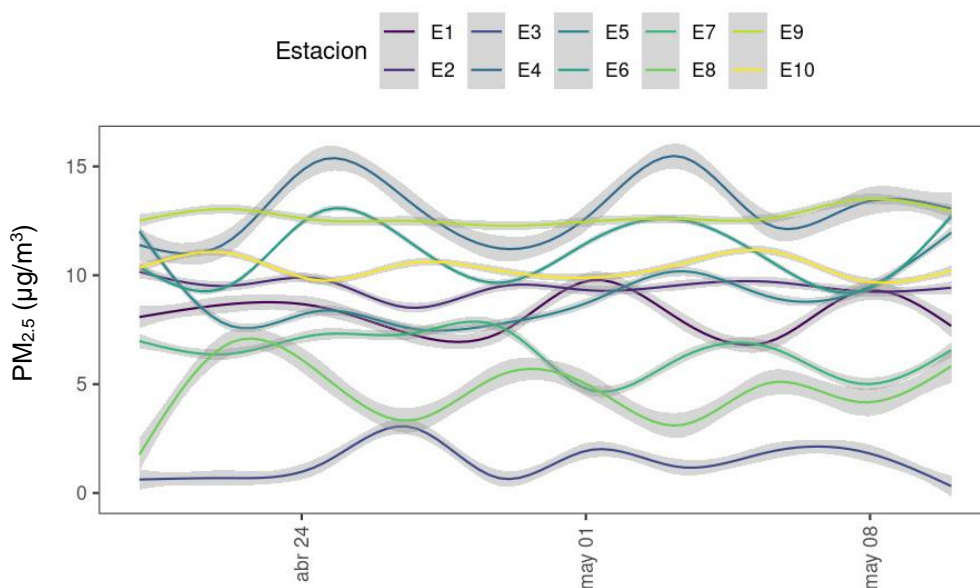


Figura 31: Comportamiento del nivel de concentración del $\text{PM}_{2.5}$ durante los días de monitoreo por estaciones fijas.

En la **Figura 32** se observa el comportamiento del CO de acuerdo a las 45 relaciones entre las estaciones fijas donde el punto medio es la mediana y la amplitud es el error, por lo tanto, podemos observar que casi no existe error y que las que llegan a tocar el punto medio son similares en este caso es la estación fija E10-E5.

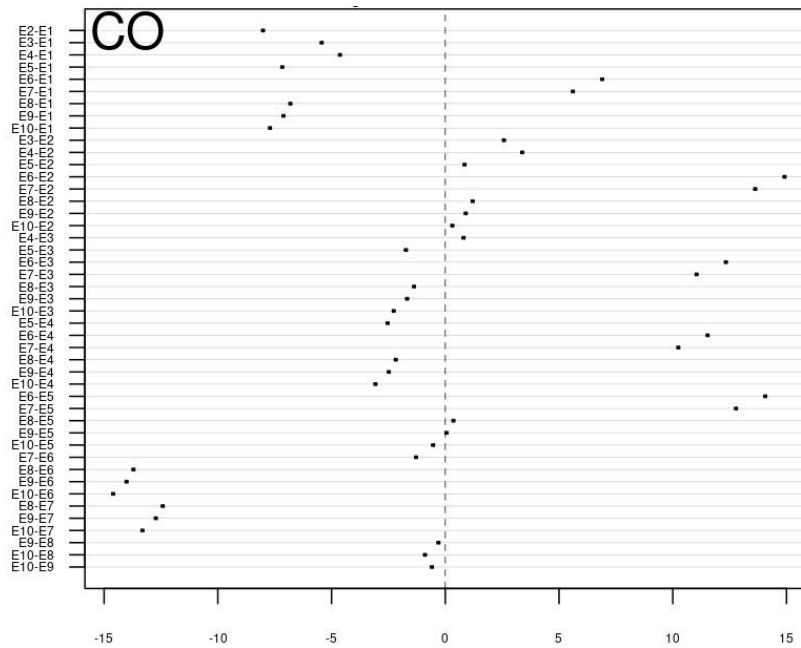


Figura 32: Anova del nivel concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.

En la **Figura 33** se identifica el comportamiento del CO_2 de acuerdo a las 45 relaciones entre las estaciones fijas donde el punto medio es la mediana y la amplitud es el error, por lo tanto, podemos observar que si existe error y que las que llegan a tocar el punto medio son similares en este caso es la estación fija E7-E1; estación fija E8-E1; estación fija E5-E2; estación fija E6-E2; estación fija E9-E2; estación fija E10-E2; estación fija E9-E4; estación fija E6-E5; estación fija E10-E5; estación fija E9-E6; estación fija E10-E6; estación fija E8-E7.

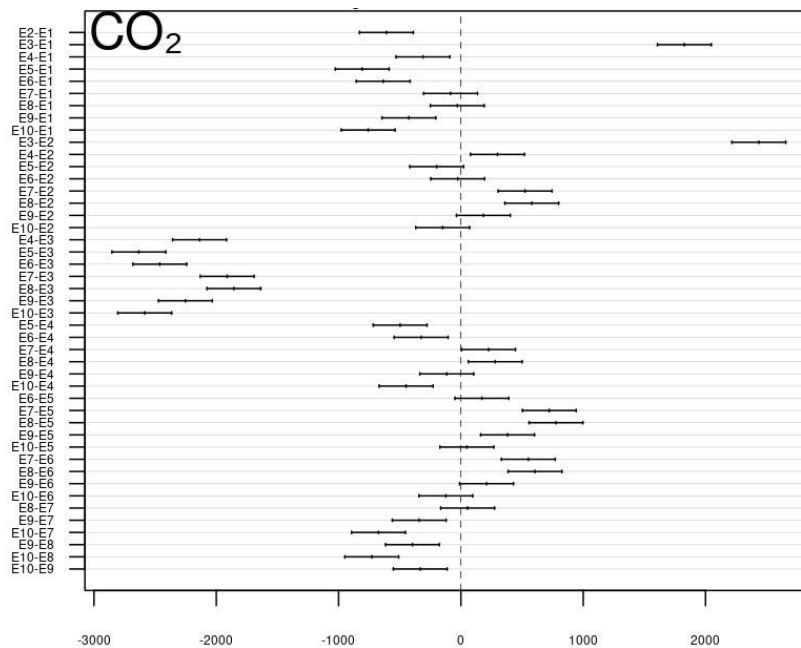


Figura 33: Anova del nivel concentración de CO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por pares de acuerdo a cada estación fija.

En la **Figura 34** se muestra el comportamiento del NO_2 de acuerdo a las 45 relaciones entre las estaciones fijas donde el punto medio es la mediana y la amplitud es el error, por lo tanto, podemos observar que no existe error y que las que llegan a tocar el punto medio son similares en este caso es la estación fija E9-E8 y estación fija E10-E5.

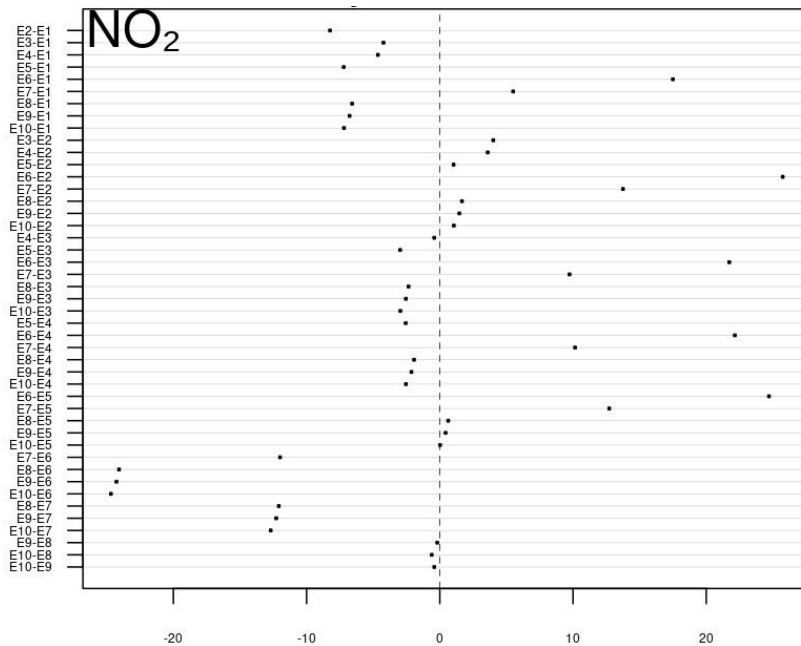


Figura 34: Anova del nivel concentración de NO₂ (µg/m³) por pares de acuerdo a cada estación fija.

En la **Figura 35** se muestra el comportamiento del O₃ de acuerdo a las 45 relaciones entre las estaciones fijas donde el punto medio es la mediana y la amplitud es el error, por lo tanto, podemos observar que casi si existe error y que las que llegan a tocar el punto medio son similares en este caso son la estación fija E5-E1; estación fija E6-E1; estación fija E7-E1; estación fija E8-E1; estación fija E9-E1; estación fija E10-E2; estación fija E4-E3; estación fija E5-E3; estación fija E6-E5; estación fija E7-E5; estación fija E8-E5; estación fija E9-E5; estación fija E7-E6; estación fija E8-E6; estación fija E9-E6; estación fija E8-E7; estación fija E9-E7; estación fija E9-E8.

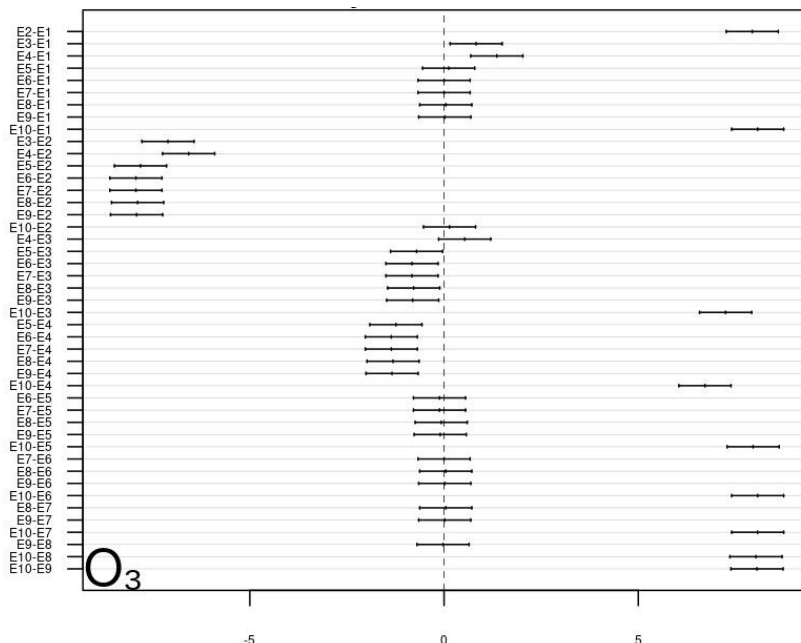


Figura 35: Anova del nivel concentración de O₃ (µg/m³) por pares de acuerdo a cada estación fija.

En la **Figura 36** se muestra el comportamiento del PM_{2.5} de acuerdo a las 45 relaciones entre las estaciones fijas donde el punto medio es la mediana y la amplitud es el error, por lo tanto, podemos

observar que casi si existe error y que las que llegan a tocar el punto medio son similares en este caso es la estación fija E9-E4.

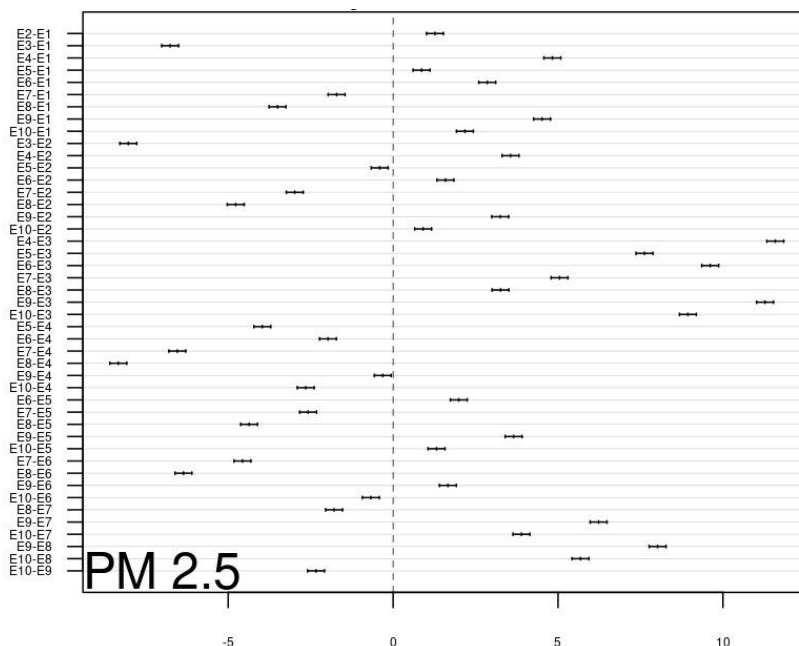


Figura 36: Anova del nivel concentración de PM_{2.5} (µg/m³) por pares de acuerdo a cada estación fija.

En la **Figura 37** se identifica el comportamiento de la concentración de CO de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos obtenidos teniendo como resultado que el sector del Chorro presenta un nivel bueno; el sector de la Dolorosa presenta un nivel óptimo; el sector de San Luis de Lajas presenta un nivel óptimo y finalmente el sector del Sigcho presenta un nivel óptimo.

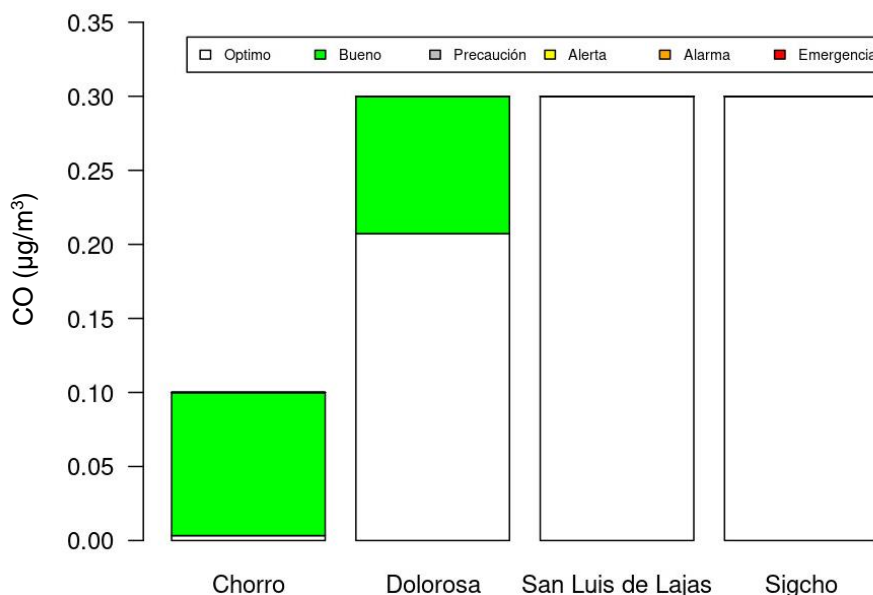


Figura 37: Niveles de concentración de CO (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada sector.

En la **Figura 38** se identifica el comportamiento de la concentración de CO₂ de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos obtenidos teniendo como resultado que el sector del Chorro presenta un nivel de emergencia; el sector de la Dolorosa presenta un nivel

de emergencia; el sector de San Luis de Lajas presenta un nivel de emergencia y finalmente el sector del Sigcho presenta un nivel entre emergencia y óptimo.

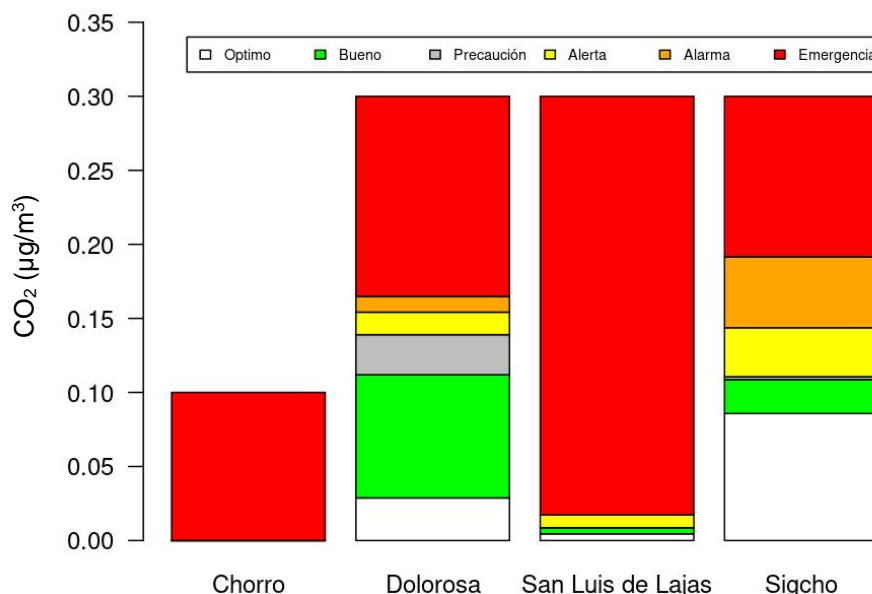


Figura 38: Niveles de concentración de CO₂ (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada sector.

En la **Figura 39** se visualiza el comportamiento de la concentración de NO₂ de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en bases a los datos obtenidos teniendo como resultado que el sector del Chorro presenta un nivel bueno; el sector de la Dolorosa presenta un nivel óptimo; el sector de San Luis de Lajas presenta un nivel óptimo y finalmente el sector del Sigcho presenta un nivel óptimo.

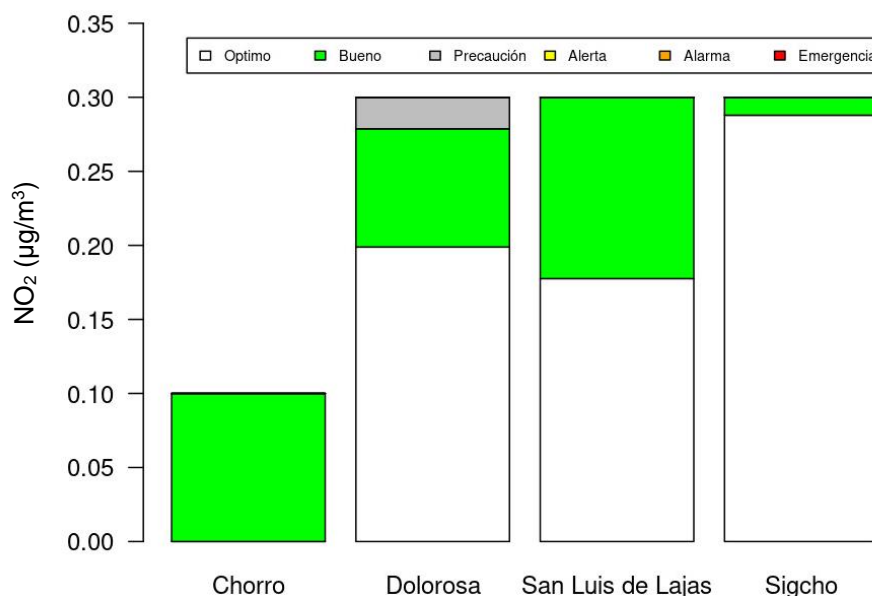


Figura 39: Nivel de concentración de NO₂ (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada sector.

En la **Figura 40** se indica el comportamiento de la concentración de O₃ de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en bases a los datos obtenidos teniendo como resultado que los sectores del Chorro, la Dolorosa, San Luis de Lajas y el Sigcho presenta un nivel óptimo.

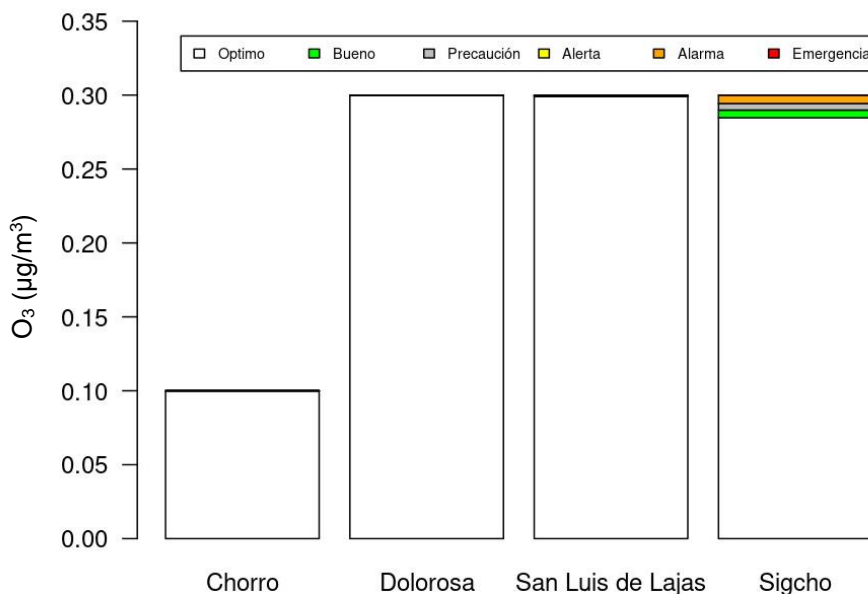


Figura 40: Niveles de concentración de O₃ (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada sector.

En la **Figura 41** se observa el comportamiento de la concentración de PM_{2.5} de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en bases a los datos obtenidos teniendo como resultado que el sector del Chorro presenta un nivel óptimo; el sector de la Dolorosa presenta un nivel óptimo; el sector de San Luis de Lajas presenta un nivel óptimo y finalmente el sector del Sigcho presenta un nivel óptimo.

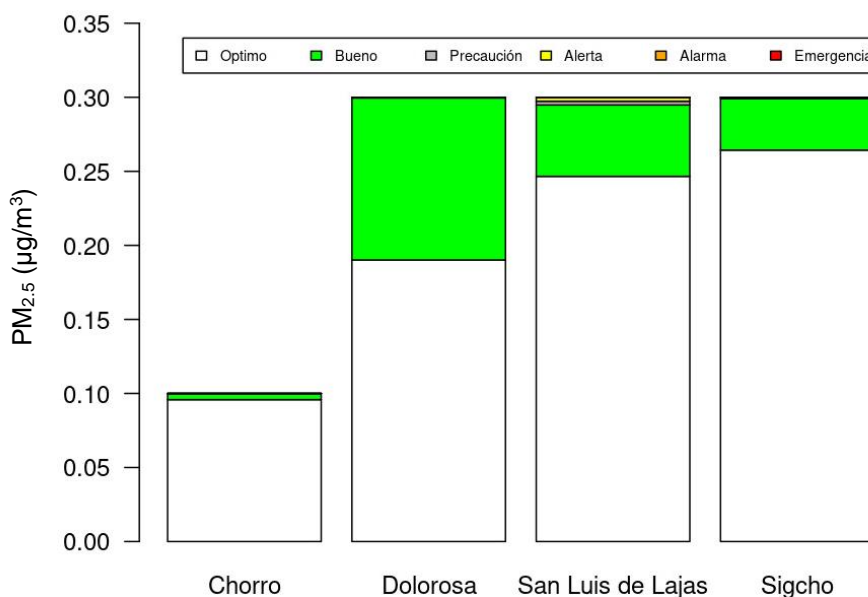


Figura 41: Niveles de concentración de PM_{2.5} (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada sector.

En la **Figura 42** se muestra el comportamiento del CO de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones, en el caso de las estaciones fijas E1, E2, E3, E4, E5, E8, E9, E10 presentan un nivel de aire óptimo y finalmente las estaciones fijas E6 Y E7 presentan un nivel de aire bueno.

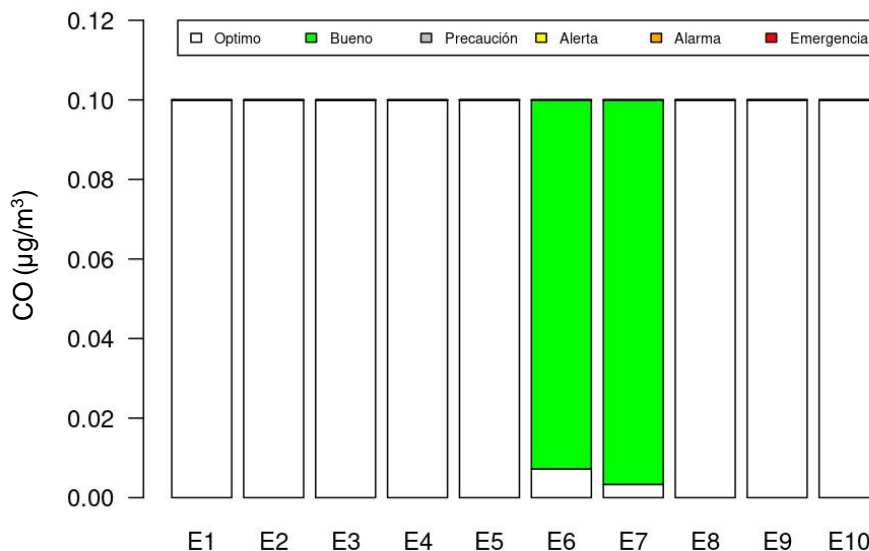


Figura 42: Nivel de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.

En la **Figura 43** se identifica el comportamiento del CO_2 de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos obtenidos, en el caso de las estaciones fijas E1, E7, E8 Y E9 presentan un nivel de aire en emergencia; la estación fija E2 presenta nivel de emergencia y alarma; la estación fija E3 presenta un nivel de emergencia y óptimo; la estación fija E4 presenta un nivel de emergencia; la estación fija E5 presenta un nivel bueno y óptimo; la estación fija E6 presenta un nivel de emergencia y bueno; y finalmente la estación fija 10 presenta un nivel óptimo y bueno.

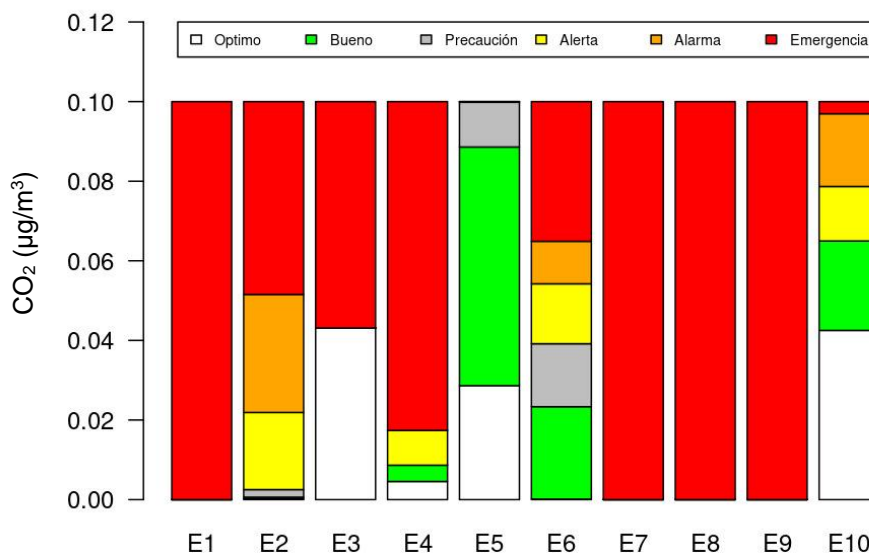


Figura 43: Nivel de concentración de CO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al ICA por cada estación fija.

En la **Figura 44** se observa el comportamiento del NO_2 de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos obtenidos, en el caso de las estaciones fijas E1 y E7 presentan un nivel óptimo, las estaciones fijas E2, E5, E8, E9,10 presenta un nivel óptimo, la estación fija E3 presenta un nivel óptimo y bueno; estación fija E4 presenta un nivel óptimo y bueno; y finalmente la estación fija E6 presenta un nivel bueno y de precaución.

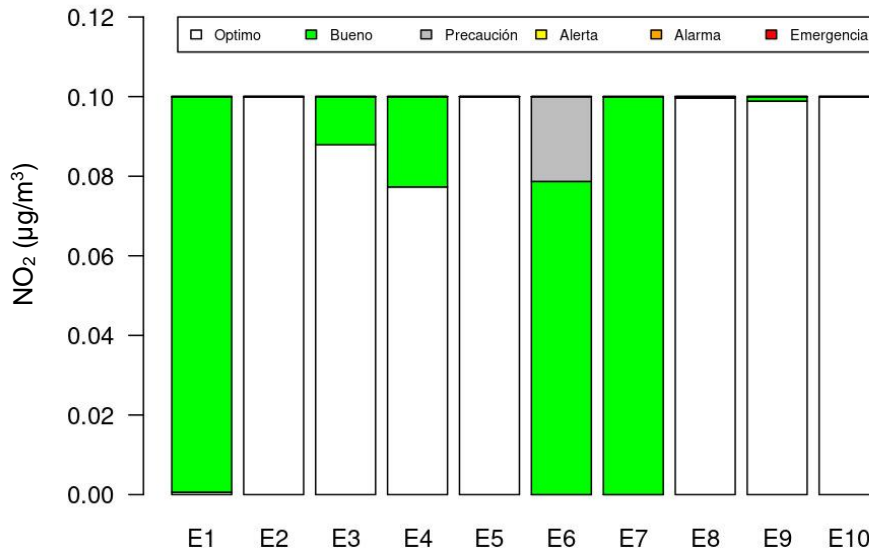


Figura 44: Niveles de concentración de NO₂ (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada estación fija.

En la **Figura 45** se observa el comportamiento del O₃ de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos obtenidos, en el caso de las estaciones fijas manteniéndose en un nivel óptimo.

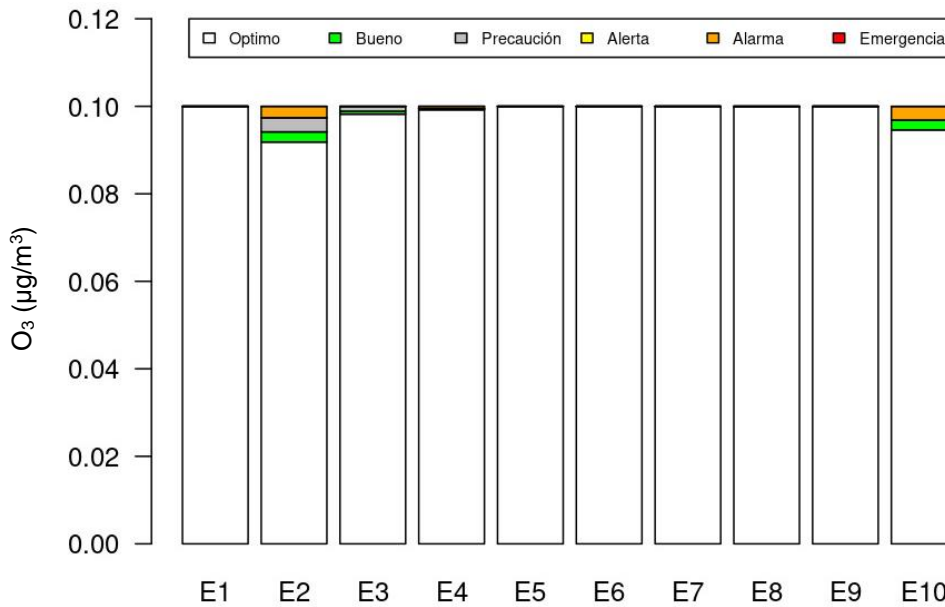


Figura 45:: Nivel de concentración de O₃ (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada estación fija

En la **Figura 46** se indica el comportamiento del PM_{2.5} de acuerdo al ICA, el cual se observa distribuido por proporciones en base a los datos conseguidos, en el caso de las estaciones fijas se mantienen en un nivel óptimo y bueno.

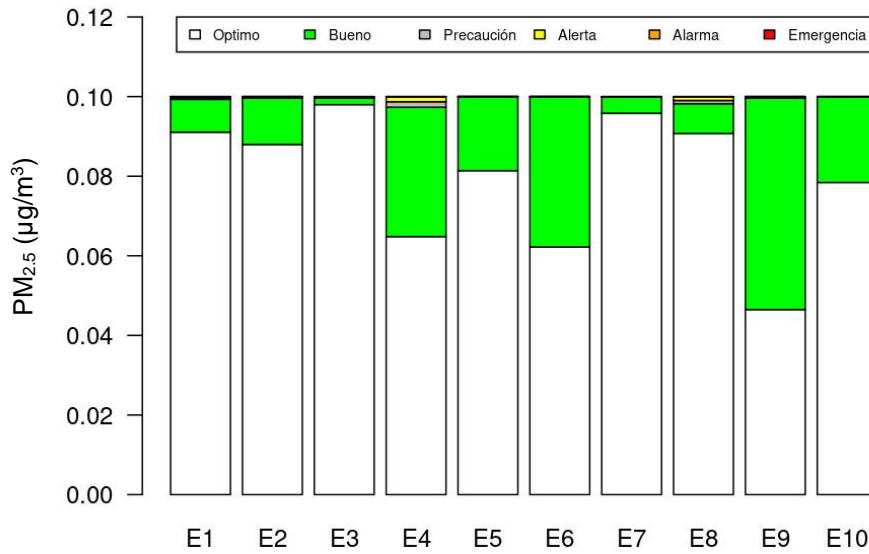


Figura 46: Nivel de concentración de PM_{2.5} (µg/m³) de acuerdo al ICA por cada estación fija.

4.2 Comparación de los datos extraídos de la concentración de gases entre los sensores electroquímicos de bajo costo y las imágenes multispectrales.

En la **Figura 47** se observan los resultados obtenidos de las combinaciones utilizadas, el modelo seleccionado se puede observar que la combinación de información para generar los distintos modelos cumple con los criterios establecidos resumidos en la **Tabla 5**. Concluyendo que los valores del coeficiente de determinación R² se ajustó y el valor-p nos permitirá comprobar que se van a cumplir los criterios ya establecidos. Cabe destacar que se trabajó con la banda 1k y banda 5k donde r es significativamente diferente a cero y p debe ser significativamente de cero.

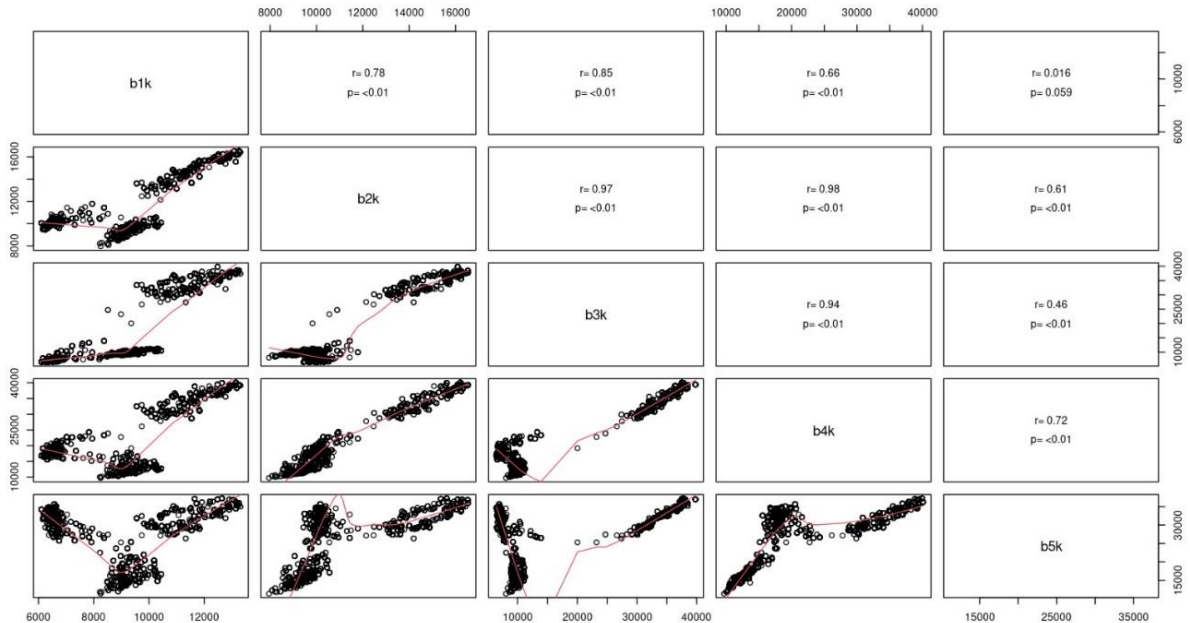


Figura 47: Correlación de bandas multispectrales para la zona de estudio.

Del modelo seleccionado **Figura 47** podemos observar que la combinación de información nos presentará el coeficiente de determinación más alto y que permitirá cumplir con los criterios, incluyendo bandas con resoluciones espectrales.

El comportamiento del PM_{2.5} estimado en la zona de estudio alcanzando concentraciones altas que sobrepasan los 50 µg/m³ que es el valor límite máximo permisible para la concentración promedio en las 24 horas según la OMS y la EMOV EP. Los resultados obtenidos con respecto a nuestra zona de estudio obtuvimos que el PM_{2.5} presenta un valor de concentración de 8 µg/m³ lo que indica que no supera la normativa establecida **Figura 48**. A su vez, podemos observar que las zonas con mayor concentración de PM_{2.5} de color verde son las ladrilleras que están aledañas a los domicilios de los pobladores y en la misma zona de estudio esto se debe justamente a la actividad que se desarrolla diariamente las 24 horas del día, ya que el material particulado generado por la actividad ladrillera es emitida en altas concentraciones hacia la atmosfera, además de ello se puede visualizar como el material particulado se acumula en los techos de cada uno de los domicilios.

	0.62685198	2.03163241
	2.03153241	3.07371467
	3.07371467	5.02214237
	5.02214237	8.14868914
	8.14868915	12.1814814

Figura 48: Escala de colores para determinar la concentración de PM_{2.5}

De acuerdo a los resultados obtenidos como indica la **Figura 49**, se observan los niveles de concentración del PM_{2.5} obtenidos de las imágenes multispectrales, lo cual presenta una diferencia significativa con respecto a los otros contaminantes, esto se debe a que el material particulado se pudo observar con mayor detalle por las emisiones que generaron cuando se monitoreo con el dron equipado con la cámara multispectral.

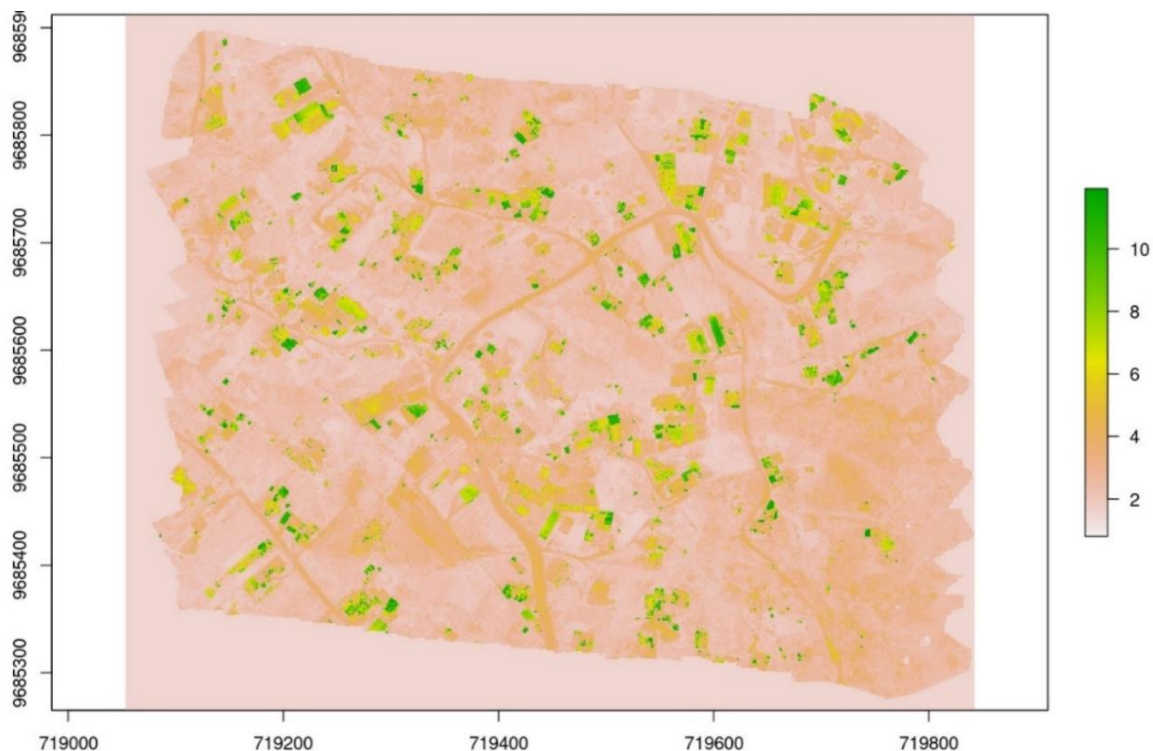


Figura 49: Imagen multispectral del nivel de concentración del PM_{2.5} en la zona de estudio.

4.3 Comparación de las concentraciones de los contaminantes con la normativa legal vigente.

En la **Tabla 10** se indican los datos obtenidos del CO en los sectores de influencia directa con las ladrilleras fueron comparados con la normativa legal vigente, podemos observar que el sector de la Dolorosa presenta un valor de 22 ug/m³; el Sigcho un valor de 22 ug/m³, San Luis de Lajas un valor de 36 ug/m³ y finalmente el Chorro un valor de 32 ug/m³ superan la normativa legal vigente de 7 ug/m³. Teniendo como resultado que el sector que presenta mayor concentración de CO es San Luis de Lajas.

Tabla 10: Niveles de concentración del CO (µg/m³) en los sectores de influencia con las ladrilleras.

	Dolorosa	Sigcho	San Luis de Lajas	Chorro
Monóxido de carbono	22	22	36	32
Normativa (ug/m³)	7	7	7	7

En la **Figura 50** se observa la comparación de las concentraciones de CO (µg/m³) con respecto a la normativa.

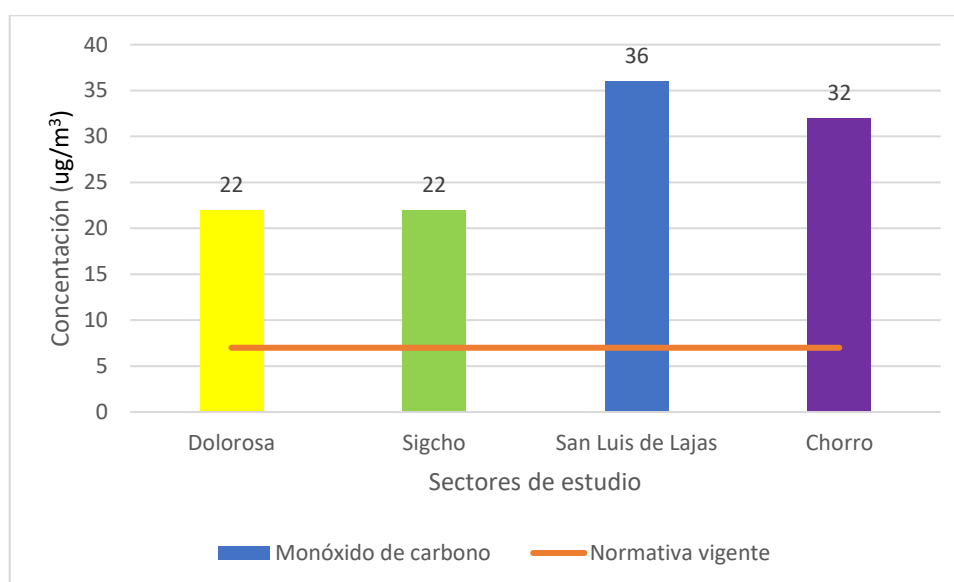


Figura 50: Comparación del nivel de concentración del CO (µg/m³) con respecto a la normativa legal vigente.

En la **Tabla 11** se visualizan los datos obtenidos del CO₂ en los sectores de influencia directa con las ladrilleras, podemos observar que el sector de la Dolorosa presenta un valor de 2016 ug/m³; el Sigcho un valor de 31577 ug/m³, San Luis de Lajas un valor de 1254 ug/m³ y finalmente el Chorro un valor de 1587 ug/m³, por lo tanto, este contaminante no se pudo comparar con la normativa. Teniendo como resultado que el sector que presenta mayor concentración de CO₂ es el Sigcho.

Tabla 11: Niveles de concentración del CO₂ (µg/m³) en los sectores de influencia con las ladrilleras.

	Dolorosa	Sigcho	San Luis de Lajas	Chorro
Dióxido de carbono	2016	31577	1254	1587

En la **Figura 51** se divisa la comparación de las concentraciones del CO₂ (µg/m³).

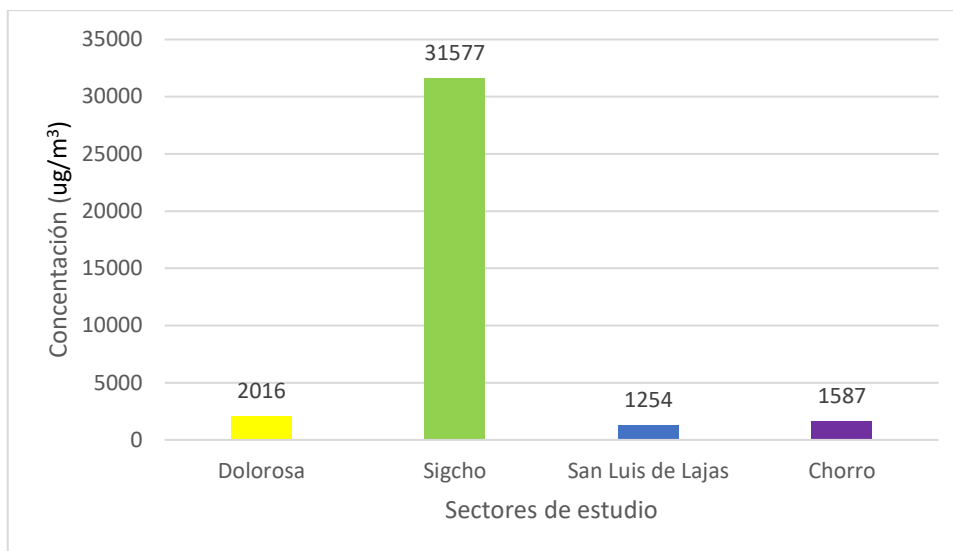


Figura 51: Comparación del nivel de concentración del CO₂ (ug/m³).

En la **Tabla 12** se indican los datos obtenidos del NO₂ en los sectores de influencia directa con las ladrilleras fueron comparados con la normativa legal vigente, podemos observar que el sector de la Dolorosa presenta un valor de 48,09 ug/m³; el Sigcho un valor de 16,48 ug/m³, San Luis de Lajas un valor de 19,49 ug/m³ y finalmente el Chorro un valor de 35,93 ug/m³ no superan la normativa legal vigente de 50 ug/m³.

Tabla 12: Niveles de concentración del NO₂ (ug/m³) en los sectores de influencia con las ladrilleras.

	Dolorosa	Sigcho	San Luis de Lajas	Chorro
Dióxido de nitrógeno	48,09	16,48	19,49	35,93
Normativa (ug/m³)	50	50	50	50

En la **Figura 52** se observa la comparación de las concentraciones de NO₂ (ug/m³) con respecto a la normativa.

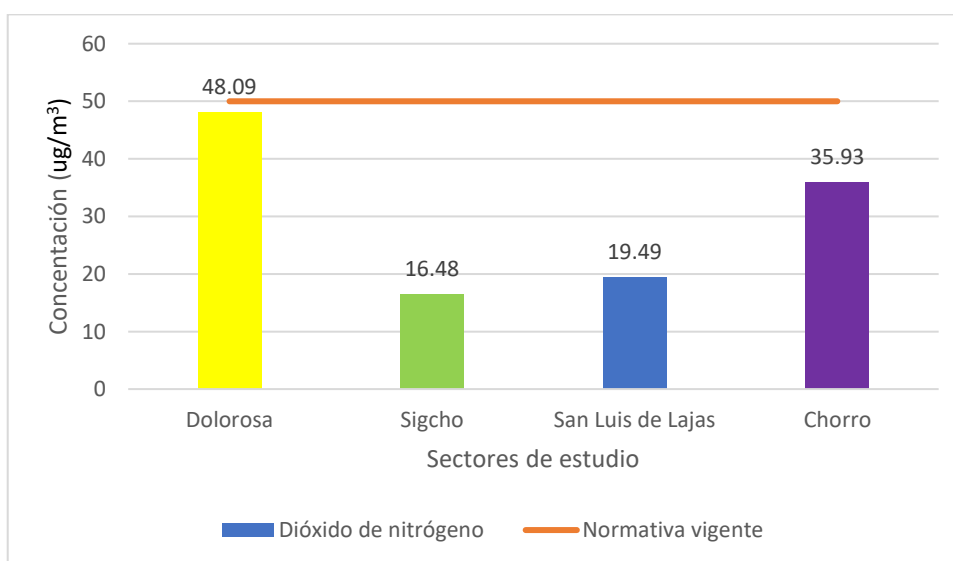


Figura 52: Comparación del nivel de concentración del NO₂ (ug/m³) con respecto a la normativa legal vigente.

En la **Tabla 13** se indican los datos obtenidos del O₃ en los sectores de influencia directa con las ladrilleras fueron comparados con la normativa legal vigente podemos observar que el sector de la Dolorosa presenta un valor de 13 ug/m³; el Sigcho un valor de 289,61 ug/m³, San Luis de Lajas un valor de 0 ug/m³ y finalmente el Chorro un valor de 0 ug/m³ superan la normativa legal vigente de 7 ug/m³. Teniendo como resultado que el sector que presenta mayor concentración de O₃ es el Sigcho ya que este contaminante supera la normativa legal de 100 ug/m³.

Tabla 13: Niveles de concentración del O₃ (µg/m³) en los sectores de influencia con las ladrilleras

	Dolorosa	Sigcho	San Luis de Lajas	Chorro
Ozono	13	289,61	0	0
Normativa (ug/m³)	100	100	100	100

En la **Figura 53** se muestra la comparación de las concentraciones de O₃ (µg/m³) con respecto a la normativa.

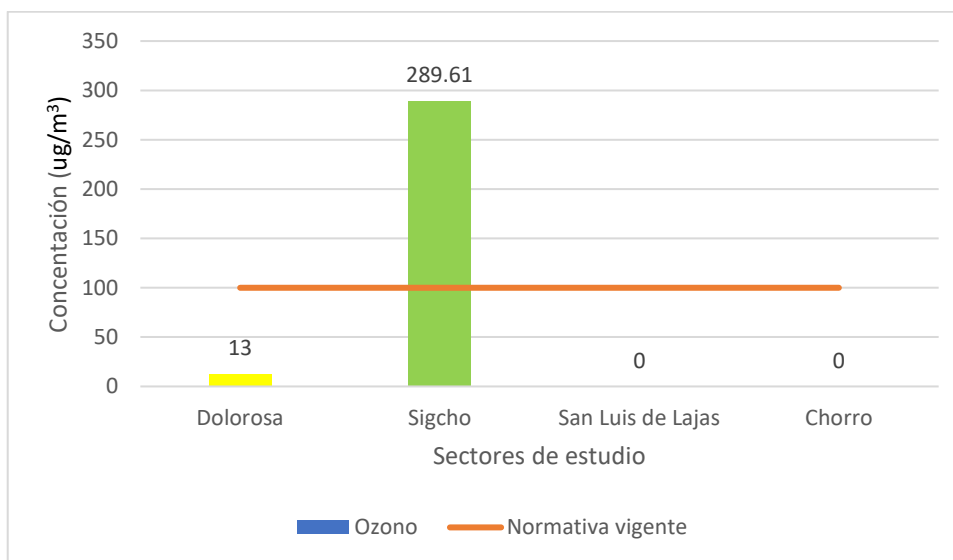


Figura 53: Comparación del nivel de concentración del O₃ (µg/m³) con respecto a la normativa legal vigente.

En la **Tabla 14** se observan los datos obtenidos del PM_{2.5} en los sectores de influencia directa con las ladrilleras fueron comparados con la normativa legal vigente podemos observar que el sector de la Dolorosa presenta un valor de 136,72 ug/m³; el Sigcho un valor de 495,26 ug/m³, San Luis de Lajas un valor de 65,5 ug/m³ y finalmente el Chorro un valor de 202,29 ug/m³ superan la normativa legal vigente de 50 ug/m³. Teniendo como resultado que el sector que presenta mayor concentración de PM_{2.5} es el Sigcho.

Tabla 14: Niveles de concentración del PM_{2.5} (µg/m³) en los sectores de influencia con las ladrilleras.

	Dolorosa	Sigcho	San Luis de Lajas	Chorro
Material particulado 2.5	136,72	495,26	65,75	202,9
Normativa (ug/m³)	50	50	50	50

En la **Figura 54** se muestra la comparación de las concentraciones de PM_{2.5} (µg/m³) con respecto a la normativa.

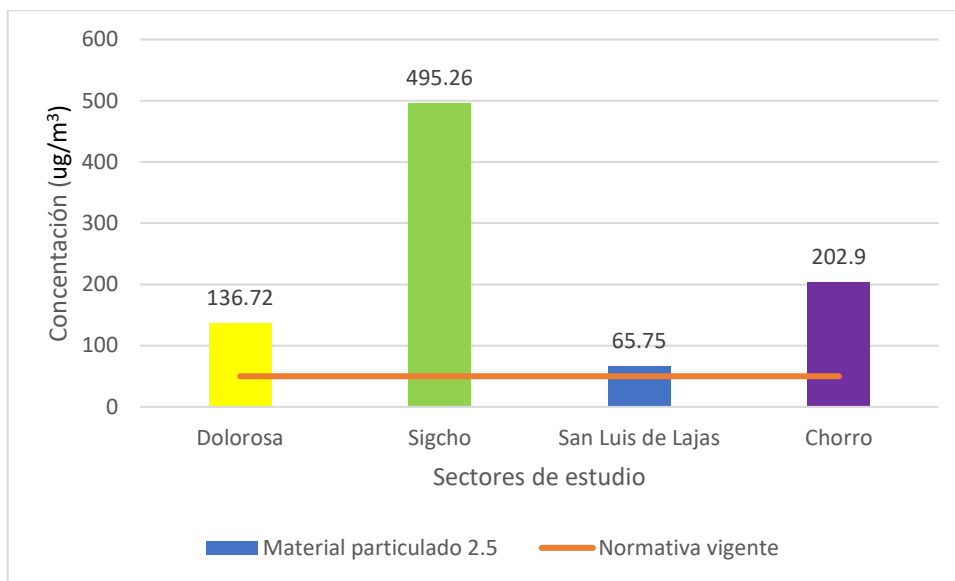


Figura 54: Comparación del nivel de concentración del PM_{2.5} (µg/m³) con respecto a la normativa legal vigente.

4.4 Discusión

De acuerdo con Tobar, (2018) en el estudio realizado en la aplicación de un modelo de dispersión de gases contaminantes en la fabricación de ladrillo artesanales en la ciudad de Ibarra obtiene como resultado que el CO presenta niveles muy altos de emisión con un valor de 509 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que Jaya & Vásquez, (2012) realizó el análisis comparativo de la contaminación atmosférica con tres tipos de combustibles obteniendo como resultado que el CO se genera en mayor cantidad con leña de eucalipto como combustible con un valor de 8454 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de la combinación entre leña y GLP con un valor de 8403 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y posteriormente la combinación de leña y Diesel con un valor de 8114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esta investigación se realizó en la parroquia de Sinincay en los sectores comprendido entre Racar, las Cochabambas, el Chorro, el Sigcho y Sinincay, y finalmente de acuerdo con Faicán & Cabrera, (2019) nos indican que la tesis realizada en la ciudad de Cuenca con respecto a los hornos de las ladrilleras que el CO llega a tener una concentración máxima de 2944 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y con respecto a nuestra investigación obtuvimos como resultado que los sectores con mayor concentración de CO son San Luis de Lajas con 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Chorro con 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; lo cual indica que la concentración del CO no es igual, sin embargo todas están por encima de la normativa pudiendo presentar problemas para la salud.

Según Tobar, (2018) en el estudio realizado en la aplicación de un modelo de dispersión de gases contaminantes en la fabricación de ladrillo artesanales en la ciudad de Ibarra obtiene como resultado que el CO_2 presenta valores máximos de 464 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que Tarazona & Fonseca, (2022) en su investigación realizada en la determinación de contaminantes atmosféricos de las ladrilleras artesanales en Latacunga, indica que el CO_2 presenta un rango elevado de contaminación con un valor de concentración de 1800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y finalmente con respecto a nuestra investigación obtuvimos que el sector de Sigcho también presenta niveles altos de CO_2 con un valor de 31577 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo este el sector que más emisiones de CO_2 genera debido a la actividad ladrillera; lo cual revela que la concentración del CO_2 no es igual, sin embargo todas están por encima de la normativa pudiendo presentar problemas respiratorios.

De acuerdo a Palomares, (2021) el estudio realizado en la ladrillera la CLAY en Bogotá en el informe técnico de las emisiones de la actividad ladrillera, obtuvo que el $\text{PM}_{2.5}$ presenta un valor de concentración de 236,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a un estándar de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se maneja de acuerdo a la normativa legal de Colombia, mientras que de acuerdo con Venegas, (2018) el resultado que obtuvo en su investigación para evaluar las emisiones de CO_2 y $\text{PM}_{2.5}$ en la producción de ladrillo en Cuenca, indica que las emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ presenta un valor de 16.686 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrándose dentro de la normativa de la OMS y la NCCA. En el estudio realizado por Rivera & Vargas, (2019) en su investigación ellos pretenden determinar el nivel de concentración en las ladrilleras del cantón Chambo y los resultados que obtuvieron con respecto al $\text{PM}_{2.5}$ de acuerdo a la OMS y el TULSMA se encuentran dentro los límites máximos permisibles con un valor máximo de 14,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ya que se estableció como una medida diaria de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cumpliendo la normativa, y finalmente de acuerdo con Faicán & Cabrera, (2019) nos indican que la investigación realizada en la ciudad de Cuenca con respecto a los hornos de las ladrilleras también nos presenta que el $\text{PM}_{2.5}$ obtenido en el estudio presenta un valor de 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual indica que no super la normativa legal a comparación con nuestro estudio obtuvimos que los sectores del Sigcho presenta un valor de 495.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Chorro con un valor 202.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo los sectores con mayor concentración y que sobrepasan la normativa de acuerdo al NCCA y a la OMS.

En el estudio realizado por Galarza & Poveda, (2022) para la determinación de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ con el uso de aeronaves tripuladas en la ciudad de Cuenca, se pudo conocer que las excelentes bandas para generar los modelos fueron: para el modelo A fue la banda Green con un P-value de 0,083450. Mientras que para el modelo B las mejores bandas fueron la Red y Green con un P-value de 4,54e-05 y 0,00163 respectivamente, con respecto a nuestra investigación en el que para determinar la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ se obtuvo como resultado que las excelentes bandas para generar los modelos fueron entre la Banda Blue 1k con un P-value de 0.0227 y la banda 5k Near

infrared con un P-value de 0.0655 lo que nos permitió identificar donde se encuentra mayor concentración de PM_{2.5}.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados alcanzados en esta investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

Se realizó un análisis con los sensores electroquímicos de bajo costo obteniendo como resultado que el sector el Chorro presentan mayor concentración de CO de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, San Luis de Lajas presenta mayor concentración de CO_2 de $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Chorro presenta mayor concentración de NO_2 de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido del sector del Sigcho que presenta alta concentración de O_3 y finalmente la Dolorosa presentan mayor concentración de $\text{PM}_{2.5}$ de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y con respecto a las imágenes multiespectrales se obtuvo como resultado que en el sector del Sigcho ostenta una concentración de $\text{PM}_{2.5}$ de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo este contaminante el que más se pudo observar a diferencia de los otros contaminantes.

Con respecto al análisis de las imágenes multiespectrales se utilizaron los datos obtenidos de las estaciones para determinar la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ que es generado por la actividad ladrillera, ya que, esta actividad emite altas concentraciones hacia la atmosfera pudiendo identificar la presencia de este contaminante sobre los techos de los domicilios y en el aire, el análisis multiespectral también es una alternativa para realizar análisis de calidad del aire porque permite identificar las zonas donde mayor concentración de contaminación existe.

Es factible aplicar el uso de drones y cámaras multiespectrales, esto se debe al bajo rango de detección y la poca área cubierta por estaciones de monitoreo presentes en la ciudad de Cuenca, ya que la implementación de estos equipos pueden funcionar como una opción para el análisis de la presencia o ausencia de un contaminante en una zona donde se pretenda estudiar.

De acuerdo al análisis con respecto al ICA podemos indicar que el contaminante que mayor concentración tuvo fue el CO_2 en los sectores de San Luis y el Chorro, puesto que se encuentran en un nivel de emergencia esto se debe a las grandes emisiones que estos generan por la mala quema del ladrillo.

De acuerdo a la normativa legal vigente los sectores que sobrepasan el nivel de concentración de CO fueron la Dolorosa con $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el Sigcho con $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, San Luis de Lajas con $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Chorro con $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido del sector el Sigcho que presenta mayor concentración de O_3 con $289,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando la normativa legal vigente y finalmente el sector que mayor concentración de $\text{PM}_{2.5}$ fue el sector el Sigcho con $495,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la Dolorosa con $136,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, San Luis de Lajas con $65,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Chorro $202,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que superan la normativa legal vigente, adicional a ello no existe una normativa que regule la concentración de CO_2 , ya que existen altos índices de emisión de CO_2 en el sector del Sigcho con $31577 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo este sector el que presenta mayor contaminación, puesto que estos dos contaminantes también son de gran importancia, porque presenta grandes concentraciones por lo que es necesario la implantación de una normativa que regule estos dos contaminantes.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones emitidas en esta investigación, se instauran las siguientes recomendaciones:

Implementar estaciones fijas que permitan medir el nivel de concentración de los contaminantes con la finalidad de monitorear las emisiones generadas por la actividad ladrillera.

Implementar medidas que permitan controlar la emisión de gases, como la desulfuración y la desnitrificación, para así poder reducir las emisiones de los contaminantes generados por la actividad ladrillera.

Promover a la conciencia ambiental por medio de charlas y capacitaciones que permitan conocer los impactos negativos de la contaminación del aire y la importancia de adoptar medidas que permitan mejorar la calidad del aire.

Adoptar nuevas técnicas como el uso de imágenes multiespectrales ya que nos permitirán obtener un análisis de los diferentes contaminantes que son emitidos por actividades industriales o por el tráfico vehicular siendo así una herramienta muy valiosa para el futuro.

Para futuras investigaciones se debe continuar con el seguimiento a los sectores que mayor concentración de contaminante genera para implementar energías más renovables que permitan mejorar la calidad del sector y la parroquia Sinincay, ya que la mala calidad del aire provoca daños a la salud de las personas que residen dentro y fuera de la zona.

Resulta interesante profundizar en el uso de otras cámaras que presenten más bandas espectrales para emplear en la detección de numerosos tipos de contaminantes atmosféricos como el CO₂, NO_x, SO_x y O₃.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2018a). *AQI Basics in Spanish | AirNow.gov*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics-in-spanish/>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2018b). *El Índice de Calidad del Aire (AQI) – Nihon Kasetsu Europe | Monitoring & Water Clarification*. <https://nihonkasetsu.com/es/el-indice-de-calidad-del-aire-aqi/>
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2014). Resumen de salud pública Ácido Sulfhídrico Una Mirada Más Detallada al Ácido Sulfhídrico. *División de Toxicología y Ciencias de La Salud*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.pdf
- Alqurashi, A. F., & Kumar, L. (2013). *Investigating the Use of Remote Sensing and GIS Techniques to Detect Land Use and Land Cover Change : 2013*(June), 193–204. <https://doi.org/10.4236/ars.2013.22022>
- Alvarado, A. (1997). *Introducción a la toxicología. Centro Panamericano de Ecología Humanay Salud*. (pp. 1–365).
- Amaya, M., Alvarado, M., & Amilcar, R. (2008). Protocolo Para El Monitoreo Y Seguimiento De La Calidad Del Aire. *Bicentenario Peru*, 287. https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Operación.pdf
- Buitrago, D., & Rojas, D. (2017). *Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de ciudad Bolívar en Bogotá D.C.* 1–107. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria Citación
- Cabrera, A. (2021). Evaluación del uso de los drones como herramienta de apoyo para un efectivo control y monitoreo de páramos en Colombia. *Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, March*, 1–19.
- Carranco, J., & Salgado, F. (2012). Sistema de monitoreo de calidad de aire y ruido ambiental para l determinación de índices de contaminación basado en redes inalámbricas de sensores. *Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología*.
- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B., & Tukey, P. A. (2018). Graphical methods for data analysis. *Graphical Methods for Data Analysis*, 1–395. <https://doi.org/10.1201/9781351072304>
- Colman, E., Sanchez, E., & Porta, A. (2018). Calidad del aire. Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos. Efectos en la salud publica. *Universidad Nacional de La Plata, Fcultad de Ciencias Exactas*, 303.
- Criollo, C. (2018). Valoración de la concentración de dióxido de nitrógeno atmosférico (NO₂) en el área urbana de la ciudad de Cuenca a través de imágenes satelitales. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Carrera de Ingeniería Ambiental*.
- Cueva, P. (2017). Estudio de SO₂ y NO₂ empleando muestreo pasivo en la zona industrial de vía a la Costa - Guayaquil. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2.
- Cuevas, R., Ramírez, J., & Salceo, C. (2003). Hidrotalcitas como precursores de oxidos mg-al sobre arcilla usados en la reduccion de emisiones SO_x. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2, 1–7.
- Elena, B. (2016). *La contaminación del aire*.
- EMOV. (2019). *Informe de calidad del aire Cuenca*. https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/CALIDAD_DEL_AIRE_2019.pdf

- EMOV. (2020). *Informe de Calidad de Aire Cuenca 2020*. PO-061.
- EMOV. (2021). *Informe_Calidad_Aire_Cuenca_2021*. 1–13.
http://kostatat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=388115
- Encinas, M. (2011). Medio ambiente y contaminación. Principios Básicos. In *Addi.Ehu.Es*.
[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos.pdf?sequence=6](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio_Ambiente_y_Contaminación_Principios_básicos.pdf?sequence=6)
- Faicán, R., & Cabrera, A. (2019). *Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales*. 144.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33391/1/Trabajo-de-titulación.pdf>
- Febres, T. (2017). Alternativas de Solucion a la Problematica Ambiental Producida por las Ladrilleras Artesanales en Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú*, 143.
- Feller, W. (1948). On the Kolmogorov-Smirnov Limit Theorems for Empirical Distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), 177–189. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730243>
- Galarza, P., & Poveda, G. (2022). Uso de aeronaves tripuladas a distancia en el área del parque industrial de la ciudad de Cuenca. *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental*, 5.
- Gandía, J. (2014). Sensores electroquímicos aplicados al estudio de la corrosión en estructuras de hormigón armado. *Universitat Politècnica de València*.
- Giglo, N. (2021). La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe. In *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.18356/9789210047425>
- Gilbert, M., & Wendell, P. E. (2018). *Introducción a la ingeniería medioambiental*.
- Guevara, M., & Meza, A. (2020). *Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT ' s) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales : una síntesis Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for the monitoring and management on natural resources : a synthesis*. 33, 77–88.
- Guimar, N., Marques, P., Silva, N., Peres, E., & Sousa, J. (2020). *Forestry Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles : A Review Focusing on the Data , Processing and Potentialities*.
- Gupta, A., Moniruzzaman, M., Hande, A., Roust, I., Olafsson, H., & Mondal, K. K. (2020). Estimation of particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀) concentration and its variation over urban sites in Bangladesh. *SN Applied Sciences*, 2(12), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03829-1>
- Hinojosa, O., & Velasco, C. (2004). Diagnóstico del trabajo de las ladrilleras artesanales en la Ciudad de Oruro. *Revista Metalúrgica*, 25, 42–49.
http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rmuto/n25/n25_a07.pdf
- Inche, J. (2004). Gestion de la Calidad del Aire Causas , Efectos y Soluciones. *Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial UNMSM*, 1, 119.
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/mambiente/gest_cal/pdf/t_completo.pdf
- INEN. (2014). Ladrillo ceramicos definiciones. Clasificación y condiciones generales. *Norma Técnica Ecuatoriana INEN*, 2–7.
- Jaya, J. L., & Vásquez, J. L. (2012). Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>
- Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). *Dawn of drone ecology : low-cost autonomous aerial vehicles for conservation*. 5(2), 121–132. <https://doi.org/10.1177/194008291200500202>

- Luján, M., & Gúzman, D. (2015). Diseño , Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales. *Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Calle M. Márquez s/n Esq. Parque J. Trigo, Tupuraya, Cochabamba, 7*, 165–193.
- MAE. (2010). Plan nacional de calidad de aire. *Ministerio Del Ambiente República Del Ecuador*, 90. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- MAE, M. del A. (2017). *Acuerdo_Ministerial_97a.Pdf* (p. 131). http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf
- Martínez, J., & López, J. (2010). Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. *Red Nacional de Teledetección Ambientalón Ambiental*.
- Maza, M. (2011). producción más limpia para ladrilleras en la parroquia Sinincay. *Trabajo De Grado Previo a La Obtencion Del Título De Biologo, 0(0)*, 20'30. <file:///C:/Users/user/Desktop/Quishpi - UNIVERSIDAD DEL AZUAY.pdf>
- Ministerio de agricultura, A. A. y M. ambiente. (2013). *Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en España*.
- Ministerio del Ambiente, M. (2004). *Ley de prevención y control de la contaminación ambiental*. https://www.utpl.edu.ec/obsa/wp-content/uploads/2012/09/ley_de_prevencion_y_control_de_la_contaminacion_ambiental.pdf
- Montero, J., & Alántara, A. (2019). *Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente*. 1–27.
- Mulero, M., & Barasona, J. (2015). *Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies*. <https://doi.org/10.1002/ece3.1744>
- Nisperuza, D., Vásquez, L., & Morales, S. (2020). Teledetección : una herramienta para estudios de calidad del aire en la zona urbana del Valle de Aburrá. *Departamento de Ciencias Básicas y Áreas Comunes - Grupo CBATA Tecnológico de Antioquia, Medellín – Colombia.*, 241–274. [https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1133/8.CAP 7 Gestio del riesgo y el medio ambiente.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1133/8.CAP%207%20Gestio%20del%20riesgo%20y%20el%20medio%20ambiente.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- OMS/OPS. (2014). *OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. ONU. 2014*. 1–3. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0
- OPS/OMS. (2005). Actualización mundial 2005. *Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre Actualización*, 5(1), 1–21.
- Ordóñez, J. (2012). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *Acta, Núm. 62*, 19–23. <https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/13-062>
- Orellana, J. A. (2005). Contaminación. *Ingeniería Sanitaria UTN - FRRO*, 1–27.
- Orfanó, E. (2016). Remote Sensing of Environment LIDAR-based estimation of bole biomass for precision management of an Amazonian forest : Comparisons of ground-based and remotely sensed estimates. *Remote Sensing of Environment*, 187, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.026>
- Osorio, C., Puente, L., & Valdés, M. (2014). Guía práctica sobre riesgos químicos. *Sistema Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres*, 1–121.
- Otoniel, O., Cortez, F., Adalberto, R., & Reyes, C. (2019). *Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y big data. Fase 1*.

- Palacios, E., & Espinoza, C. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca - Ecuador, 2009-2013. posibles efectos en la salud. *Facultad de Ciencias Médicas Universidad de Cuenca*, 32(2), 6–17. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22965/1/Dra Elvira palacios ing Claudia Espinoza.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22965/1/Dra%20Elvira%20palacios%20ing%20Claudia%20Espinoza.pdf)
- Palomares, J. (2021). Diseño del plan de gestión ambiental en la ladrillera La Clay. *Universidad de La Salle*.
- PDOT Sinincay. (2015). *Diagnostico del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Sinincay*. 1–504. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Perniu, D., & Manciualea, I. (2018). *Transporte de contaminantes gaseosos en atmósfera urbana*.
- Pino, E. (2019). *Los drones una herramienta para una agricultura eficiente : un futuro de alta tecnología Drones a tool for efficient agriculture : a high-tech future*. 75–84.
- PMGCA de Vitoria- Gasteiz. (2005). *Plan municipal de gestion de la calidad del aire de Vitoria-Gasteiz*.
- Quijano, A., Quintero, G., & Melendez, I. (2016). Mutagenicidad y genotoxicidad en fracciones de PM_{2,5} del aire de Villa del Rosario, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 38(105), 191–196. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v38n105a06>
- Quispe, Y. P. (2021). *La contaminación ambiental. December*.
- Raquel, M., & Gaxiola, B. (2007). Integración de sensores electroquímicos basados en nanomateriales funcionales para la detección de contaminantes en aguas Integración de sensores electroquímicos basados en nanomateriales funcionales para la detección de contaminantes en aguas Tesis prese. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Reinoso, M. (2015). “Los aspectos ambientales generados por la producción artesanal de tejas y ladrillos, en relación con el bienestar físico-social de la población, en la parroquia Sinincay del cantón Cuenca, en el año 2015.” *Universidad Tecnológica “Indoamérica”*.
- Rivera, A., & Vargas, C. (2019). Determinacion Y Caracterizacion De Las Concentraciones De Material Particulado Sedimentable Del Sector De Ladrilleras De La Matriz Del Canton Chambo. *Alternativas de Evaluación Del Lenguaje En Niños Pre Escolares*, 76. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>
- Rodriguez, J. (2019). Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI. In *Sistema Biodigestor*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Samanez, J. (2020). Contaminación del aire por el óxido de azufre emitida por las embarcaciones en la bahía del Callao. *Facultad de Ingeniería Escuela Profesional de Ingeniería de Navegación y Marina Mercante*, 91.
- Shi, Y., Ji, Y., Sun, H., Hui, F., Hu, J., Wu, Y., Fang, J., Lin, H., Wang, J., Duan, H., & Lanza, M. (2015). Nanoscale characterization of PM 2.5 airborne pollutants reveals high adhesiveness and aggregation capability of soot particles. *Scientific Reports*, 5(November 2014), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep11232>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Tarazona, P., & Fonseca, J. (2022). Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM 10) en la vereda mochuelo-alto Bogotá D.C. *Facultad de Ingeniería*, 26. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona_Rincón_Paula_Andrea_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2006). Carbon monoxide contamination: An environmental health problem. *Revista de Salud Pública*, 8(1), 108–117. <https://doi.org/10.1590/s0124-00642006000100010>
- Tobar, I. D. (2018). “Aplicación de un modelo de dispersión de gases contaminantes en el proceso de fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Ibarra y su relación con la salud humana.” *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*, 1–41. <https://core.ac.uk/download/pdf/160757437.pdf>
- Torres, J. (2018). “Sistematización de los procesos de monitoreo de la calidad del aire desarrollados en el cantón Latacunga .” In *Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad* (Vol. 1). <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>
- Tyler, N., & Ramírez, C. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. *University College London – Universidad de Los Andes*, 1–35.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *AQI Basics | AirNow.gov*. <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>
- UNICEF. (2019). El aire que respiramos. *Los Efectos de La Contaminación Del Aire y Del Cambio Climático En La Salud de La Niñez En El Ecuador*, 1–35. www.unicef.org/ecuador
- Venegas, A. (2018). Evaluación De La Energía Contenida, Emisiones De CO2 Y Material Particulado En La Fabricación Del Ladrillo Semi-Mecanizado Tochano en Cuenca, a Través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). *Universidad de Cuenca Facultad de Arquitectura y Urbanismo*, 62. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29319/1/MscArqAndrésVenegas.pdf>
- WHO. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe* (Issue 91).
- Zambrano, J. (2018). Diagnóstico ambiental de las ladrilleras en la comuna Sancán. *Universidad Estatal Del Sur de Manabi Facultad de Ciencias Naturales y de La Agricultura Carrera de Ingeniería Ambiental*.
- Zaror, C. (2000). “Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos.” *Departamento de Ingeniería Química Facultad de Ingeniería*, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.035>

ANEXOS

Anexo 1: Fotografía de la colocación de las estaciones fijas en la zona de estudio para el monitoreo de las concentraciones de gases.



a) Colocación de la estación



b) Estación de monitoreo fija

Figura 55: Colocación de las estaciones fijas.

Anexo 2: Fotografía del mapa donde se colocaron las estaciones fijas para el monitoreo en nuestra zona de estudio.



Figura 56: Ubicación de la zona de estudio y colocación de las estaciones fijas.

Anexo 3: Fotografía del monitoreo con el drone DJI Matrice 300 RTK para la toma de imágenes multiespectrales en la zona de estudio.



a) Calibración del dron b) Dron listo para despegue y toma de imágenes

Figura 57: Calibración y toma de imágenes multiespectrales.



a) Control para dirigir el dron b) Ruta de vuelo del dron

Figura 58: Ruta de vuelo del drone DJI Matrice 300 RTK en la zona de estudio.



Figura 59: Cámara multiespectral utilizada para la obtención de imágenes espaciales.

Anexo 4: Fotografías del manejo de los programas “Excel” y “Rstudio” que sirvieron para determinar el grado de contaminación existente en la zona de estudio.

dat - Excel

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda ¿Qué desea hacer?

Calibri 11 A⁺ A⁻ Fuente Alineación Número Formato condicional Dar corr Est

Portapapeles Pegar Combinar y centrar

A1 Zona

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Zona	created_at	Dia	N	CO	CO2	NO2	H2S	O3	PM2.5	Estacion
2	San Luis de L	2023-04-20T0	20	1	7	510	13.95	1.94	0	6.98	E1
3	San Luis de L	2023-04-20T0	20	2	7	511	11.91	1.98	0	8.37	E1
4	San Luis de L	2023-04-20T0	20	3	7	512	14.05	1.99	0	8.37	E1
5	San Luis de L	2023-04-20T0	20	4	8	507	12.29	1.93	0	8.37	E1
6	San Luis de L	2023-04-20T0	20	5	7	515	12.2	2	0	9.77	E1
7	San Luis de L	2023-04-20T0	20	6	7	510	12.88	1.99	0	9.77	E1
8	San Luis de L	2023-04-20T0	20	7	7	510	12.68	2.01	0	6.98	E1
9	San Luis de L	2023-04-20T0	20	8	7	511	12.2	2.01	0	5.58	E1
10	San Luis de L	2023-04-20T0	20	9	8	512	12	2.01	0	5.58	E1
11	San Luis de L	2023-04-20T0	20	10	7	512	11.71	2.01	0	5.58	E1
12	San Luis de L	2023-04-20T0	20	11	7	514	12.2	1.94	0	5.58	E1
13	San Luis de L	2023-04-20T0	20	12	8	514	11.52	2.01	0	5.58	E1
14	San Luis de L	2023-04-20T0	20	13	8	514	13.17	1.91	0	5.58	E1
15	San Luis de L	2023-04-20T0	20	14	8	513	12.49	2.01	0	5.58	E1
16	San Luis de L	2023-04-20T0	20	15	8	518	12.2	2.01	0	5.58	E1
17	San Luis de L	2023-04-20T0	20	16	7	514	13.85	1.99	0	5.58	E1
18	San Luis de L	2023-04-20T0	20	17	7	512	12.98	1.96	0	5.58	E1
19	San Luis de L	2023-04-20T0	20	18	7	518	11.71	2.03	0	5.58	E1
20	San Luis de L	2023-04-20T0	20	19	7	515	12.49	2.01	0	5.58	E1
21	San Luis de L	2023-04-20T0	20	20	7	518	12.59	2.02	0	6.98	E1
22	San Luis de L	2023-04-20T0	20	21	8	519	13.17	1.98	0	6.98	E1
23	San Luis de L	2023-04-20T0	20	22	7	515	11.71	2	0	6.98	E1

dat

Figura 60: Procesamiento de los datos obtenidos durante el monitoreo para evidenciar las concentraciones de gases

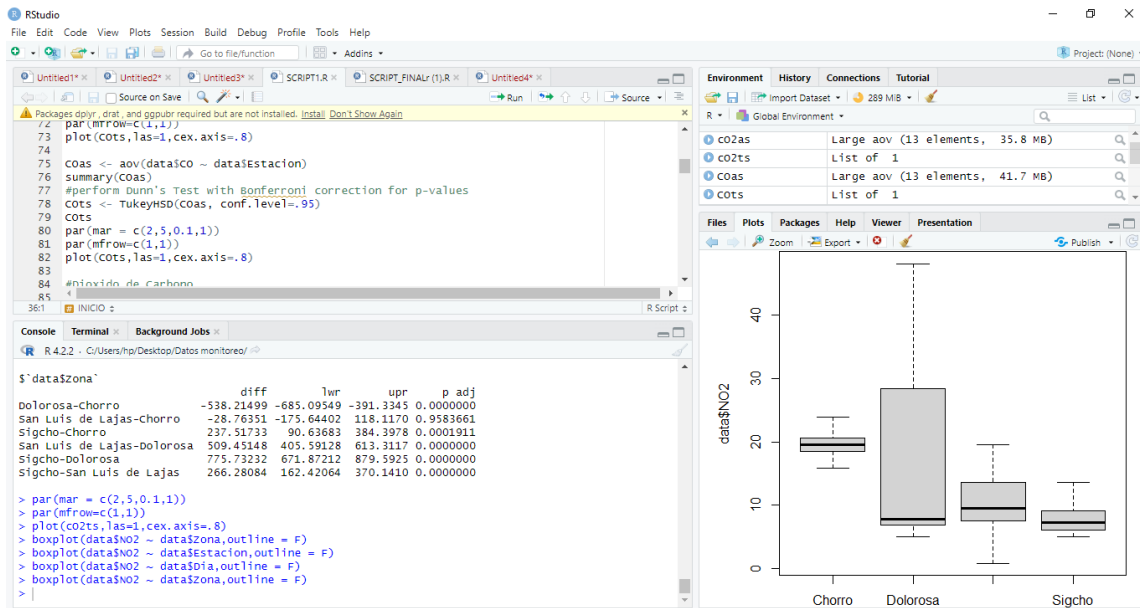


Figura 61: Manejo del programa Rstudio para la obtención de las gráficas.

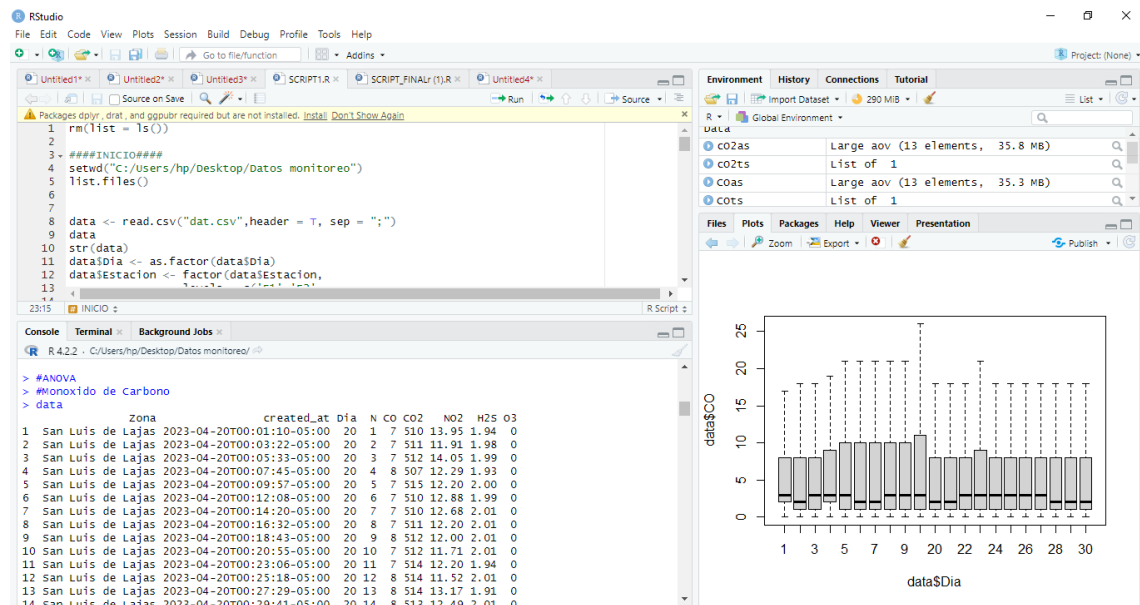


Figura 62: Comportamiento del monóxido de carbono en relación a los días de monitoreo.

Anexo 5: Fotografías que evidencian la contaminación del aire en la zona de estudio por efecto de las ladrilleras artesanales.



Figura 63: Presencia de material particulado en las estaciones fijas.

Anexo 6: Fotografías evidenciando la contaminación provocada por las ladrilleras artesanales.



a) Emisión de contaminantes de las ladrilleras.

b) Presencia de contaminantes en el aire.

Figura 64: Emisión de gases proveniente de las fábricas de ladrillo artesanales.



Figura 65: Contaminación provocado por el efecto de las ladrilleras artesanales.

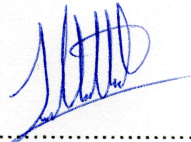


Figura 66: Emisión de gases durante la noche en la etapa de cocción de los ladrillos.

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Jonnathan Bernardo Quito Jimbo portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105473888. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio de la calidad de aire en los sectores de influencia directa de las ladrilleras artesanales de la parroquia Sinincay, cantón Cuenca, Ecuador" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 02 de agosto del 2023



F:

Jonnathan Bernardo Quito Jimbo

0105473888