



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS (NO_x, SO_x y PM_{2.5}) EMITIDOS EN LA CALERA
“EL REY DE LA PARROQUIA CALPI**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: HUGO GERMAN CUBI PILCO

DIRECTORA: Dra. LOURDES CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN Mgs.

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, **Hugo Germán Cubi Pilco**

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

Yo, HUGO GERMÁN CUBI PILCO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 12 de mayo del 2022.



Hugo Germán Cubi Pilco

060496326

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico **DETERMINACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (NO_x, SO_x y PM_{2.5}) EMITIDOS EN LA CALERA “EL REY DE LA PARROQUIA CALPI**, realizado por el señor **HUGO GERMÁN CUBI PILCO** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos González García, Ph.D. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-12
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán. Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-05-12
Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui. Mgs MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-12

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios, por darme la sabiduría para poder llegar a esta etapa tan especial en mi vida, a mi madre que ha sido un pilar fundamental con su apoyo incondicional que me ha enseñado la humildad y el trabajo ya que el camino para llegar hasta aquí ha sido largo y sacrificado, pero ha sido recompensado y me siento orgulloso de ello, de haber terminado lo empezado y seguir aprendiendo. A toda mi familia quienes siempre han confiado en mí y han sido sinónimo de inspiración por que juntos hemos descubierto el trabajo desinteresado como familia. Finalmente, a mis profesores por brindarme las herramientas necesarias con sus conocimientos durante mi vida estudiantil, a mis amigos que de una u otra forma han contribuido con sus consejos y ayuda. A todos Uds. con mucho amor y cariño

Hugo

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad y amor el cual me permitió llegar a esta etapa de mi vida. A mi madre María por ser la luz y ejemplo en mi vida, hermanos por no dejarme abandonado con esas palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y me acompañaron en mis sueños y metas. A Javier, que es padre y hermano a la vez, gracias por no dejarme abandonando, mil gracias por su sacrificio de años por velar el bienestar de nuestra familia. A la Dra. Cumandá Carrera por su ayuda y orientación en este trabajo de titulación. A la Ing. Rafaela Viteri una excelente persona por la paciencia y conocimiento impartido en beneficio esta investigación.

A Daniel Álvarez quien con su apoyo se pudo realizar el respectivo trabajo de campo

A la calera El Rey por permitir realizar en su empresa esté presente trabajo de titulación.

A Klever López por su gran apoyo incondicional

Agradezco a todos mis amigos por ese apoyo cuando más lo necesitaba y extenderme las manos en los momentos difíciles y en verdad muchas gracias infinitamente por esa ayuda y buena voluntad

Hugo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
----------------------------------	---

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. Contaminación del aire	4
2.2. Contaminantes atmosféricos.....	4
2.3. Contaminantes primarios	4
2.3.1. <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	5
2.3.2. <i>Óxidos de nitrógeno (NO_x)</i>	5
2.3.3. <i>Dióxido de nitrógeno (NO₂)</i>	6
2.3.4. <i>Monóxidos de carbono (CO_x)</i>	6
2.3.5. <i>Material Particulado (PM)</i>	7
2.4. Contaminantes secundarios.....	7
2.5. Fuentes de emisión de los contaminantes a la atmósfera	8
2.5.1. <i>Fuentes estacionarias</i>	8
2.5.2. <i>Fuentes móviles</i>	8
2.5.3. <i>Dispersión de contaminantes atmosféricos</i>	8
2.6. Modelos de dispersión	8
2.6.1. <i>Modelo de dispersión Gaussiano</i>	9
2.7. Screen View (screen 3)	9
2.8. Bases conceptuales.....	9

2.8.1.	<i>Aire</i>	9
2.8.2.	<i>Clima</i>	10
2.8.3.	<i>Combustión</i>	10
2.8.4.	<i>Emisión</i>	10
2.8.5.	<i>Monitoreo</i>	10
2.8.6.	<i>Mapas temáticos</i>	10
2.8.7.	<i>Norma de calidad de aire</i>	10
2.9.	Base Legal	11
2.9.1.	<i>Norma Ecuatoriana de la calidad del aire ambiente. Acuerdo ministerial 097- A.</i> ..	11
2.9.2.	<i>Norma de concentraciones de emisión al aire desde fuentes fijas de combustión</i>	11
2.9.3.	<i>Calidad del aire según la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.</i>	11
2.9.4.	<i>Modelación de contaminación atmosférica</i>	11
2.9.4.1.	<i>Screen View</i>	11
2.9.4.2.	<i>Fuentes de contaminación fijas o estacionarias</i>	12
2.9.5.	<i>Dióxido de carbono (CO₂)</i>	12
2.9.6.	<i>Calidad del aire en la Parroquia de Calpi</i>	12
2.9.7.	<i>Principales impactos</i>	13
2.9.8.	<i>Higiene ocupacional</i>	13
2.9.9.	<i>Descripción de la elaboración de la cal</i>	14
2.9.10.	<i>Combustible utilizado para la elaboración de la cal</i>	14
2.9.11.	<i>Quema de leña</i>	15
2.9.11.1.	<i>Principales contaminantes producidos al quemar leña</i>	15
2.9.12.	<i>Descargas al medio ambiente en la actividad de la producción de cal</i>	16
2.9.12.1.	<i>Principales impactos</i>	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1.	Tipo de Investigación	17
3.2.	Localización del Área de estudio	17
3.3.	Descripción del Área de Estudio	18
3.4.	Determinación del dominio	19
3.5.	Selección de la calera de estudio	19
3.6.	Medición de contaminantes.	19
3.7.	Obtención de datos para la simulación	19
3.8.	Meteorología	20

3.9.	Simulación de la dispersión	20
3.10.	Representación gráfica de la dispersión de contaminantes.....	21
3.11.	Determinación de dispersión con muestreo activo	21
3.12.	Cálculo de la correlación de los datos y error	21
3.12.1.	<i>Cálculo de la Incertidumbre</i>	21
3.12.2.	<i>Coficiente de Pearson</i>	22

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	23
4.1.	Identificación del área de estudio	23
4.1.1.	<i>Determinación de emisión de SO_x, PM_{2,5} y NO_x</i>	24
4.1.1.1.	<i>Determinación de emisión de SO_x</i>	24
4.1.1.2.	<i>Determinación de emisión de NO_x</i>	26
4.1.1.3.	<i>Determinación de emisión de PM_{2,5}</i>	27
4.1.2.	<i>Validación de datos - Índice de Incertidumbre de NO_x</i>	28
4.1.3.	<i>Validación de datos - Índice de Incertidumbre de SO_x</i>	30
4.1.4.	<i>Validación de datos - Índice de Incertidumbre de PM_{2,5}</i>	31
4.1.5.	<i>Determinación de dispersión de NO_x</i>	32
4.1.6.	<i>Determinación de dispersión de SO_x</i>	33
4.1.7.	<i>Determinación de dispersión de PM_{2,5}</i>	34
4.1.8.	<i>Determinación de dispersión de NO a 100 metros con el Monitoreo Activo.</i>	35
4.1.9.	<i>Determinación de dispersión de SO_x a 100 metros con el Monitoreo Activo.</i>	36
4.1.10.	<i>Determinación de dispersión de PM_{2,5} a 100 metros con el Monitoreo Activo.</i>	37

CONCLUSIONES.....	39
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	40
----------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Niveles de exposición a SO ₂ según la OMS.....	5
Tabla 2-2:	Niveles de exposición a SO ₂ según la OMS.....	6
Tabla 3-2:	Niveles de exposición a PM según la OMS	7
Tabla 1-3:	Puntos de Muestreo.....	19
Tabla 2-3:	Datos de entrada en el software Screen View	20
Tabla 1-4:	Concentración de SO _x contaminantes en el horno de la Calera el Rey.	24
Tabla 2-4:	Concentración de NO _x contaminantes en el horno de la Calera el Rey.	26
Tabla 3-4:	Concentración de PM _{2,5} contaminantes en el horno de la Calera el Rey.	27
Tabla 4-4:	Índice de Incertidumbre de NO _x	29
Tabla 5-4:	Índice de Incertidumbre de SO _x	30
Tabla 6-4:	Índice de Incertidumbre de PM _{2,5}	31
Tabla 7-4:	Monitoreo activo a 100 metros de NO _x	35
Tabla 8-4:	Monitoreo activo a 100 metros de SO _x	37
Tabla 9-4:	Monitoreo activo a 100 metros	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3:	Mapa de ubicación de la Parroquia Calpi.	18
Figura 1-4:	Calera el Rey y Ubicación de los puntos de monitoreo.	23
Figura 2-4:	Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para NO _x	35
Figura 3-4:	Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para SO _x	36
Figura 4-4:	Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para PM _{2,5}	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Etapas de la producción de la cal.	14
Gráfico 1-4:	Relación entre los valores obtenidos de emisión de SO _x frente al valor Máximo Permisible de 0,5 ppm según el Acuerdo Ministerial 097-A.....	25
Gráfico 2-4:	Relación entre los valores obtenidos de emisión de NO _x frente al límite permisible 20 ppm del acuerdo ministerial 097-A.	26
Gráfico 3-4:	Relación entre los valores obtenidos de emisión de PM 2,5 frente al límite permisible para fuentes fijas es de 15 ppm.....	28
Gráfico 4-4:	Índice de Incertidumbre	29
Gráfico 5-4:	Índice de Incertidumbre SO _x	30
Gráfico 6-4:	Índice de Incertidumbre de los datos monitoreados para PM _{2,5}	32
Gráfico 7-4:	Modelamiento de dispersión de contaminante para NO _x	33
Gráfico 8-4:	Modelamiento de dispersión de contaminante para SO _x	33
Gráfico 9-4:	Modelamiento de dispersión de contaminante para PM _{2,5}	34

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se realizó en la parroquia Santiago de Calpi, donde se encuentra ubicada la calera “EL REY”, que tuvo como objetivo la dispersión de contaminantes atmosféricos (NO_x, SO_x y PM_{2,5}) emitido en las caleras de la parroquia Calpi en la provincia de Chimborazo, mediante un muestreo probabilístico por conveniencia aleatorio, en el que se determinaron los tres puntos de monitoreo activo, a una altura de 1,50 metros utilizando el equipo Altair se midió la dispersión de los contaminantes con periodos de 5 horas continuos, durante 5 días seguidos de acuerdo al método que recomienda el acuerdo ministerial 097-A. En cuanto a los resultados las concentraciones de los contaminantes emitidos al aire ambiente por la fuente fija son 36,26 ppm de NO y de SO_x 0,23 ppm en el caso de los NO tenemos que en promedio si se sobrepasa de los límites permisibles, además el error que se obtuvo entre los datos del muestreo activo y SCREEN VIEW corresponde a tener un valor menor al 5% pues los valores correspondientes en ambos no difieren por lo que se puede concluir que la simulación que genera SCREEN VIEW es válida para tomar como una referencia de la dispersión de los contaminantes en esta zona. Por lo que se concluyó como hallazgo principal donde tenemos que los contaminantes han tenido un comportamiento similar al 95%, en contraste con el error que arrojó la incertidumbre, volviendo de esta forma confiable y una eficiencia cercana al 100% que valida la dispersión de los contaminantes en el estudio con el Software SCREEN VIEW, y se recomienda realizar muestreos más continuos para determinar la afectación a la salud por la presencia de material particulado.

Palabras clave: <CONTAMINACIÓN>, <CALERA>, <MONITOREO AMBIENTAL>, <DISPERSIÓN>, <SIMULACIÓN>.



1091-DBRA-UTP-2022

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas

ABSTRACT

The current graduation work was carried out in Santiago de Calpi rural parish, where "EL REY" limestone deposit is located. The aim of this work was the dispersion of (NO_x, SO_x and PM_{2.5}) atmospheric pollutants, generated by the limestone deposits of Calpi rural parish, Chimborazo province, by means of a randomized convenience probabilistic sampling, in which three active monitoring points were determined at a height of 1.50 meters. With the use of Altair equipment, the dispersion of the pollutants was measured in periods of 5 continuous hours, during 5 consecutive days according to the method recommended by the 097-A ministerial agreement. Regarding the results, the concentrations of the pollutants emitted into the air by the fixed source are: 36.26 ppm of NO and SO_x 0.23 ppm. In the case of NO, it exceeds the permissible limits; in addition, the error obtained between the active sampling data and SCREEN VIEW corresponds to a value lower than 5% because the corresponding values in both cases do not differ. Thus, it is concluded that the simulation generated by SCREEN VIEW is valid to take it as a reference on the dispersion of pollutants in this area. It was concluded that the pollutants present a behavior similar to 95%, in contrast to the error reflected by the uncertainty. In this way it becomes reliable and reflects an efficiency close to 100%. Therefore, it validates the dispersion of pollutants with the use of SCREEN VIEW Software. It is recommended to carry out permanent sampling in order to determine how the health is affected by particulate matter.

Keywords: <POLLUTION>, <LIMESTONE DEPOSIT>, <ENVIRONMENTAL MONITORING>, <DISPERSION>, <SIMULATION>.



Firmado electrónicamente por:
**PAUL ROLANDO
ARMAS PESANTEZ**

INTRODUCCIÓN

En la parroquia Santiago de Calpi, se encuentra ubicada la calera “EL REY”, su principal actividad es la obtención de materia prima procesada denominada cal, finalmente, esta es luego comercializada en un gran porcentaje en las diversas industrias camaroneras del país. Debido a la cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos durante el proceso productivo, ya sea por la combustión incompleta o por el uso excesivo de combustibles es importante conocer las concentraciones de contaminantes atmosféricos (Gallegos Picó, 2013, p. 89). Con base en lo anterior, el presente proyecto se desarrolló con la finalidad de determinar las concentraciones de los contaminantes emitidos por las chimeneas de la calera. Además, se determinó la dispersión de los contaminantes emitidos al aire ambiente, para identificar zonas con mayor contaminación. Gracias al uso de modelos de dispersión de contaminantes se precisó con mayor facilidad y en menor tiempo las zonas que se ven afectadas por dicha dispersión, así como la distancia que alcanza las concentraciones a su valor máximo (Aviles & River, 2018, p. 67). Para ello, se utilizó un software Screen View 3, en donde permite un modelamiento en terrenos planos y con pendientes, incorporando concentración de contaminantes (NO_x, SO_x y PM_{2.5}) además datos meteorológicos (temperatura atmosférica conjuntamente con la velocidad y dirección del viento). Obteniendo así resultados a distancias discretas o automatizadas, eliminando la necesidad de ocupar modelos más concretos y complicados así poder ahorrar recursos y dinero (EPA, 2000, p. 45). Actualmente son escasos los estudios de dispersión de contaminantes atmosféricos y modelamiento ambiental en chimeneas o caleras dentro de la provincia de Chimborazo, por lo cual el proyecto permite brindar a la parroquia Calpi, un estudio de identificación de zonas afectadas por contaminantes atmosféricos, que servirán de base para implementar, evaluar y ajustar programas, medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire para sus habitantes.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la dispersión de contaminantes atmosféricos (NO_x , SO_x y $\text{PM}_{2,5}$) emitido en las caleras de la parroquia Calpi en la provincia de Chimborazo.

Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de los contaminantes emitidos al aire ambiente por la fuente fija.
- Realizar un modelamiento de la dispersión de los contaminantes con el software Screen View 3.
- Validar el error que existe entre el muestreo activo y el Screen View 3 para determinar la incidencia de la empresa.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el desarrollo de las actividades industriales a nivel mundial ha causado un gran deterioro al medio ambiente, ya que altera la calidad del aire generando daños críticos a la salud de las personas, los animales y la biota. La acumulación de gases en la atmósfera producto del proceso de combustión en fuentes fijas ha generado un desequilibrio en la naturaleza. La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), menciona que las emisiones de contaminantes al aire pueden provocar cambios en el clima. El cambio climático puede afectar la calidad del aire y, a la inversa, la calidad del aire puede afectar el cambio climático generando impactos en la calidad del aire local. Mientras (Merchán Berrezueta, 2018, p. 67) los gases al ser dispersados en la atmósfera se diluyen por medio de procesos naturales como reacciones químicas, absorción por vegetales, cuerpos de agua, nubes y sedimentación; reduciendo la concentración en la atmósfera, pero dando comienzo a nuevas problemáticas ambientales. La exposición al aire contaminado es un problema global y se ha relacionado directamente con el asma y otras enfermedades pulmonares. El daño causado directamente a las vías aéreas por aire contaminado provoca cambios epigenéticos en el pulmón, además, puede ocasionar estrés oxidativo, lesionando al ADN. Del mismo modo, los compuestos orgánicos volátiles como: benceno, tolueno, xileno y otros, están vinculados con incremento en el riesgo de padecer asma (Fonseca Torres, 2018, p. 78). La calera “El Rey” presenta un horno construido de una manera tradicional, no cuenta con una chimenea de descarga y origina emisiones de partículas durante la cocción y el procesamiento de cal (óxido de calcio). Además, no presenta ningún tipo de equipo especial instalado para el tratamiento de estos gases de combustión y por lo cual las emisiones son descargadas de manera directa al aire, generando impactos ambientales y socioeconómicos sobre zonas circundantes. Los hornos generalmente se alimentan de combustible de origen natural, como la madera o leña y posteriormente de aceites de automotores, (González Gavilánez, 2012) durante este proceso de calcinación se genera emisiones de polvo como óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y material particulado (PM_{2.5}). Sin embargo, debido a que la calera se encuentra cerca al perímetro parroquial de Calpi es importante y necesario conocer el impacto de la dispersión de sus contaminantes con el fin de generar medidas a favor de mitigar la contaminación ambiental producida por el proceso de fabricación de la cal.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire generalmente es causada por partículas sólidas (PM) o gases de la atmósfera generados por actividades antropogénicas o de manera natural, y en determinadas concentraciones y tiempos, pueden desencadenar una serie de reacciones o ciertos efectos a nivel atmosférico provocando alteraciones en organismos y en particular degradando la salud humana (Ariza, Sánchez y Franco, 2018). Desde el surgimiento de las grandes industrias y la acumulación de contaminación atmosférica durante muchos años se han provocado grandes cambios climáticos, que cada vez son más severos. Las áreas industriales pueden emitir varios tipos de contaminantes en diferentes concentraciones, lo cual se debe a los tipos de combustibles usados y por ende el uso irracional de los mismos (Avilés & Rivera, 2018, p. 58).

2.2. Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes dentro de la atmósfera se pueden clasificar en varias categorías, según su composición química, su reacción o modo de emisión, los niveles detectados pueden reaccionar con procesos complejos (Gallegos Picó, 2013, p. 45). Estos contaminantes pueden ser tratados o removidos de las superficies de dos maneras, ya sea seca o húmeda; y pueden actuar sobre diferentes receptores y por lo tanto las emisiones dependerán de la topografía, la meteorología y la ciencia química atmosférica para desarrollar modelos matemáticos para contaminantes primarios o secundarios (Martínez Ataz, 2004, p. 39).

Cuando un contaminante alcanza niveles altos en la atmósfera, se produce transporte o dispersión a través de movimientos horizontales y verticales, provocando reacciones fotoquímicas, transformándose así en otro tipo de contaminantes. Esto provoca inestabilidad en la atmósfera y más contaminantes peligrosos que están influenciados por factores ambientales y despeje del sitio, y por lo tanto altera la calidad del aire (Gallegos Picó, 2013, p. 89).

2.3. Contaminantes primarios

Los contaminantes primarios son aquellos que se liberan directamente a la atmósfera desde la fuente de emisión. Estos contaminantes incluyen: monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos y partículas. Los cuatro primeros se encuentran en estado gaseoso, mientras que los demás elementos consisten en partículas sólidas

y líquidas dispersas en el aire (Ruiz, 2018, p. 80).

2.3.1. Dióxido de azufre (SO₂)

Los contaminantes no son parte de los gases de efecto invernadero, pero pueden afectar el clima. El SO₂ es un precursor de la formación de aerosoles y también tiene un efecto refrescante sobre el clima, por lo que este compuesto debe incluirse en los modelos climáticos. Las emisiones globales de SO₂ están entre 70 y 80 millones de toneladas por año, y alrededor del 80% de las emisiones de SO₂ provienen de la quema de combustibles fósiles y principalmente carbón (Áviles & Rivera, 2018, p. 50) y afecta al sistema respiratorio, provocando la aparición de enfermedades cardiovasculares. Los niños, así como las personas mayores de 50 años, sensibles o con problemas de asma, son los más afectados por estas emisiones (Ruiz, 2018, p. 86).

Tabla 1-2. Niveles de exposición a SO₂ según la OMS.

Concentración en 24 H ug/m ³	Efecto observado
400-900	Posibles trastornos respiratorios como tos, irritación en la garganta y silbido en el pecho en personas con asma
500-1700	Posible agravamiento de personas con enfermedades pulmonares y cardíacas
1700-2300	Incremento significativo de trastornos respiratorios y agravamiento
2300-2900	Trastornos respiratorios severos
>2900	Cambios en la función respiratoria y pulmonar

Fuente: OMS, 2021.

2.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) forman lo que se conoce como óxido nitroso (NO_x). Además, el NO_x es responsable de la formación de ozono troposférico, el cual es un contaminante sumamente peligroso. El óxido nitroso es un contaminante que se libera directamente a la atmósfera en forma de NO, que puede convertirse en NO₂ y otros derivados, que pueden ser emitidos por fuentes naturales o artificiales en procesos industriales, cuando el gas de combustión se libera a la atmósfera, la mayor cantidad de NO_x se convierte en NO₂. En altas concentraciones, puede irritar los alvéolos (Ruiz, 2018, p. 87).

2.3.3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es un gas que tiene un color marrón rojizo y es tóxico en altas concentraciones; reacciona rápidamente y se forma por oxidación del óxido nítrico (NO). Se encuentra de forma natural durante tormentas eléctricas o erupciones volcánicas, y se genera de forma artificial durante la combustión de motores de diésel y otros procesos industriales. Actúa como precursor en la generación de ozono (O₃) y otros oxidantes que afectan principalmente a la vegetación. Alrededor del 66% NO₂, presente en la atmósfera, se produce al quemar combustibles fósiles y biomasa. El 16% proviene de actividades microbianas que ocurren en el suelo, mientras que el 18% restante corresponde al NO₂ producido directamente en la atmósfera (Ruiz, 2018, p. 89).

Tabla 2-2. Niveles de exposición a SO₂ según la OMS.

	MP10 (µg/m³)	MP2,5 (µg/m³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo intermedio-3 (OI-3)*	75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	50	25	Basado en la relación entre los niveles de MP10 de 24 horas y anuales.

Fuente: OMS, 2021.

2.3.4. Monóxidos de carbono (CO_x)

El CO se compone a partir de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono y luego se oxida a CO₂ por procesos naturales. La mayoría de las emisiones de CO provienen de la flota y de los equipos de combustión. Para las fuentes portátiles, las emisiones de CO están en función de la eficiencia del motor, donde las emisiones son mayores cuando no hay suficiente oxígeno disponible para una combustión completa, lo que suele ocurrir cuando el motor está frío al arrancar. El CO afecta la formación de otros compuestos como el ozono troposférico y el metano (Áviles & Rivera, 2018, p. 67).

2.3.5. Material Particulado (PM)

La evidencia de partículas suspendidas (PM) y sus efectos en la salud pública muestra consistentemente los efectos adversos para la salud de la exposición a las poblaciones urbanas tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. La gama de efectos sobre la salud es amplia, pero son especialmente pronunciados en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Toda la población se ve afectada, pero la susceptibilidad a la contaminación depende de la salud y la edad. Se ha demostrado que el riesgo de múltiples efectos aumenta con la exposición, y hay poca evidencia de que los siguientes umbrales no tengan efectos adversos para la salud. De hecho, el límite inferior del rango de concentraciones donde se han demostrado efectos adversos no es mucho más alto que la concentración de fondo calculada en $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado por debajo de 2.5 ($\text{PM}_{2.5}$) en los Estados Unidos y Europa Occidental. Evidencia epidemiológica de PM adverso después de una exposición a corto y largo plazo.

Tabla 3-2. Niveles de exposición a PM según la OMS

	MP₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	70	35	Estos niveles están asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA.
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1.
Objetivo intermedio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2.
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al $\text{PM}_{2.5}$.

Fuente: OMS, 2021.

2.4. Contaminantes secundarios

Se consideran más relevantes los formados en la atmósfera por procesos químicos que afectan a los principales contaminantes. Estos contaminantes son producidos por la tendencia natural de la atmósfera a oxidar los gases traza que se encuentran allí. Entre estos contaminantes se encuentran el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), que son producidos por la oxidación de los principales contaminantes como SO_2 y NO (Áviles & Rivera, 2018, p. 68).

2.5. Fuentes de emisión de los contaminantes a la atmósfera

2.5.1. Fuentes estacionarias

Las fuentes estacionarias también conocidas como fuentes contaminantes fijas o puntuales, designan un punto fijo desde el que se descargan los contaminantes criterio, además de otros puntos que pueden llegar a ser peligrosos. Actualmente, las tecnologías están avanzando hacia la reducción de la contaminación por este tipo de fuentes, en las que se ha fomentado el uso de energías renovables (INECC, 2007, p. 79).

2.5.2. Fuentes móviles

Las fuentes portátiles incluyen diferentes tipos de vehículos, pero los automóviles son el mayor problema porque emiten grandes cantidades de monóxido de carbono, junto con otros gases en pequeñas cantidades. Para su control se optaron por métodos como la inspección vehicular y el control de consumo de combustible (INECC, 200, p. 80).

2.5.3. Dispersión de contaminantes atmosféricos

El comportamiento de un contaminante permite evaluar su existencia y predecir su distribución final o dispersión en el medio natural en el que se encuentra, y así evaluar sus efectos, su impacto sobre las comunidades o ecosistemas presentes en el área. La dispersión se refiere al transporte de contaminantes a través de la atmósfera y está determinada por varios factores, tales como variabilidad climática, características topográficas del sitio de interés e incluso el viento (Perdiz, 2016). El viento se refiere al movimiento masivo de aire, horizontalmente, que ocurre debido a cambios en la presión atmosférica. La velocidad del viento afecta la concentración de contaminantes en un área determinada. Por lo tanto, a mayor velocidad del viento, menor concentración de contaminantes, ya que es el responsable de su rápida dispersión en la zona de interés, se evidencia la relación inversa entre estas variables (Gavidia, 2015, p. 80).

2.6. Modelos de dispersión

De acuerdo con (Ruiz-Villavicencio, 2020) una forma de estimar las concentraciones de los contaminantes del aire en varias localidades es utilizar una metodología de modelos predictivos y de distribución partiendo de la obtención de datos de concentración de contaminantes y el uso de variables meteorológicas procedente de estaciones cercanas a los sitios de estudio de interés. Un modelo puede definirse como una expresión matemática propuesta para representar el

comportamiento de un fenómeno bajo ciertas condiciones con el fin de simplificar la realidad. En el contexto de la modelización de la dispersión atmosférica, se han desarrollado varios modelos para estudiar la dispersión de contaminantes en la atmósfera a partir de fuentes fijas (Ruiz-Villavicencio, 2020, p. 86).

2.6.1. Modelo de dispersión Gaussiano

El modelo de dispersión Gaussiano se basa en el funcionamiento de una distribución normal y tiene en cuenta el cálculo de las condiciones meteorológicas específicas del lugar y momento de las emisiones, incluyendo variables como la velocidad del viento, la atmósfera del aire, la temperatura y la topografía. Este modelo se basa en diferentes variables, cuyos valores y características suponen constantes, como la velocidad y dirección del viento, tanto en el espacio como en el tiempo, la estabilidad atmosférica y la fuente de emisión. De esta manera se puede demostrar que penacho resultante tendrá una característica de concentración gaussiana en ambas direcciones y en la dirección vertical, y se abrirán a medida que aumente la distancia desde la fuente de emisión.

2.7. Screen View (screen 3)

Screen View 3 es un software fue desarrollado por la EPA para proporcionar un método simple y estimar las concentraciones máximas y mínimas de diversos contaminantes en la superficie terrestre en función de la distancia desde la fuente, mediante el uso de modelos de dispersión gaussiana. La EPA recomienda este software para estimar emisiones iniciales de concentraciones de contaminantes emitidos por una fuente (Bustillos, 2011). Mientras, Screen View permite modelar escenarios en terreno simple o complejo obteniendo resultados a varias distancias, simplificando un modelado más complicado, y ayudando al usuario en ahorro de tiempo y recursos (Lakes, 2021, p. 88).

2.8. Bases conceptuales

2.8.1. Aire

El aire es una masa de gas que se conforma por la mezcla de gases (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O , gases nobles, H_2 y O_3) que se encuentran alrededor del planeta (Perdiz, 2016, p. 87).

2.8.2. *Clima*

El clima se define como un estado medio en que los procesos meteorológicos evolucionan sobre un espacio geográfico amplio durante un lapso tiempo extenso (Perdiz, 2016, p. 78).

2.8.3. *Combustión*

La combustión es un proceso de oxidación rápida que ocurre cuando el oxígeno se combina con una sustancia oxidante o sustancia para producir gas, partículas, luz y calor (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, p. 98).

2.8.4. *Emisión*

La emisión es un tipo de descarga de sustancias en la atmósfera. De acuerdo con el (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, p. 89).

2.8.5. *Monitoreo*

Este es el proceso planificado de recolectar muestras, medir y luego registrar varias características del medio ambiente, a menudo con el fin de evaluar el cumplimiento de objetivos específicos (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, p. 89).

2.8.6. *Mapas temáticos*

El mapa temático es una herramienta cartográfica que se basa en otros tipos de mapas, como mapas topográficos o políticos, para representar fenómenos o eventos geográficos o sociales de un tipo particular, y así tener objetivos claramente definidos (CEDEC, 2020, p. 76).

2.8.7. *Norma de calidad de aire*

Esta norma internacional especifica un límite en la concentración máxima permisible de contaminantes del aire a nivel del suelo durante un período de muestreo promedio definido para proteger la salud y el entorno escolar (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, p. 89).

2.9. Base Legal

2.9.1. Norma Ecuatoriana de la calidad del aire ambiente. Acuerdo ministerial 097- A

La Norma de Calidad del Aire Ambiente, del Acuerdo Ministerial 097A, Libro VI Anexo 4, establece los límites de concentración máximo permitido para cada contaminante criterio en el aire ambiente, dentro de los cuales se encuentran el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

2.9.2. Norma de concentraciones de emisión al aire desde fuentes fijas de combustión

Esta norma establece los límites permisibles para las concentraciones de emisiones contaminantes en el aire, que se generan por operaciones de combustión en fuentes fijas, calderas, centrales térmicas, turbinas de gas y motores, motores de combustión interna, incineradores, incineradores de residuos peligrosos u hospitales y por ciertos procesos industriales (MAE, 2015, p. 76).

2.9.3. Calidad del aire según la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre

Las guías de calidad del aire de la OMS recogen valores guía de tres de los cuatro contaminantes examinados y estos son ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (OMS, 2005, p. 19).

2.9.4. Modelación de contaminación atmosférica

2.9.4.1. Screen View

Screen View es un modelo de evaluación de la USA identificado de la siguiente manera: facilidad de uso. Esta interfaz se puede utilizar para determinar las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo para una sola fuente, puede modelar diferentes escenarios para resultados de distancia discretos o automáticos. Los resultados también se pueden mostrar como texto y, con los gráficos de coordenadas XY, los cuales se generan automáticamente después de ejecutar el modelo. La interfaz genera un archivo que contiene histogramas que representan las concentraciones de contaminantes en función de la dirección del viento a lo largo de la distancia, además permite una vista de pantalla que verifica todos los parámetros en busca de errores en tiempo real y mensajes de error inteligentes, lo que permite proyectos complejos sin errores (Lakes Environmental, 2018, p. 67).

2.9.4.2. Fuentes de contaminación fijas o estacionarias

Una fuente de contaminación es una instalación donde tienen lugar procesos industriales, terciarios, comerciales u otras actividades que pueden producir emisiones nocivas para el medio ambiente a la atmósfera (Aguirre & Machado, 2015, p. 78).

2.9.5. Dióxido de carbono (CO₂)

El Dióxido de carbono (CO₂) es un gas inodoro, incoloro e insípido, ligeramente menos denso que el aire, constituido por un átomo de carbono y uno de oxígeno en su estructura molecular (Heredia, 2014). La principal fuente de actividad humana de CO₂ es la combustión incompleta de combustibles como la gasolina, así como también la combustión incompleta de materia orgánica, chimeneas industriales, calefones, calderos, cocinas, estufas o calentadores (Aguirre & Machado, 2015, p. 76). La formación del CO₂ es generalmente el resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- Combustión incompleta del carbono.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO₂ y materiales que tienen carbono.
- Disociación del CO₂ a altas temperaturas.
- Oxidación atmosférica del metano (CH₄) procedente de la fermentación anaerobia de la materia orgánica.
- Proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas (Iparraguirre, 2016, p. 78).

Las emisiones de CO pueden ser fatales si se inhalan a niveles elevados. En concentraciones tóxicas, ingresa al cuerpo a través de las vías respiratorias sin que la víctima se dé cuenta hasta que causa síntomas clínicos. El envenenamiento frecuente por CO y severo, puede causar la muerte o secuelas irreversibles. En otras palabras, estamos ante un veneno mortal pero que tiene un tratamiento eficaz (Durán, 2015, p. 89).

2.9.6. Calidad del aire en la Parroquia de Calpi

El aire en la Parroquia de Calpi ha sido contaminado principalmente en los últimos años, debido al aumento indiscriminado y contra técnico de las fábricas de cal y hornos con una capacidad de 2 toneladas de cal/día, estas toneladas de cal deben dejarse a alta temperatura por un tiempo prolongado, con la quema de la madera de eucalipto, la cocción produce una cantidad importante de emisiones contaminantes al aire (Pyot Riobamba, 2015, p. 65).

2.9.7. Principales impactos

La producción de cal afecta la calidad del aire y la morfología del suelo. El primer caso tiene efectos directos e indirectos sobre la salud humana, la flora y la fauna, y el medio acuático, principalmente por el humo que emite el horno durante la cocción, contribuyendo al cambio climático global. En el segundo caso, la cantera provoca excavaciones que afectan no solo el paisaje, sino también la estructura y estructura del suelo, provocando deforestación, pérdida de producción del suelo y erosión (Siñami & Marcilla, 2012p. 76).

2.9.8. Higiene ocupacional

Se dedica a estudiar los efectos de los contaminantes sobre las personas expuestas, con el fin de determinar los valores de la concentración o cantidad de las sustancias químicas o agentes físicos contaminantes que pueden resultar peligrosos para generar daño para la salud. Su objeto es establecer los valores límites permisibles, con los cuales se espera que casi todos los trabajadores puedan estar expuestos día tras día de manera repetitiva sin efectos adversos a la salud, así como de establecer y estandarizar los métodos de monitoreo o de toma de muestras o de prácticas analíticas (Morales, 2016, p. 78).

2.9.9. Descripción de la elaboración de la cal

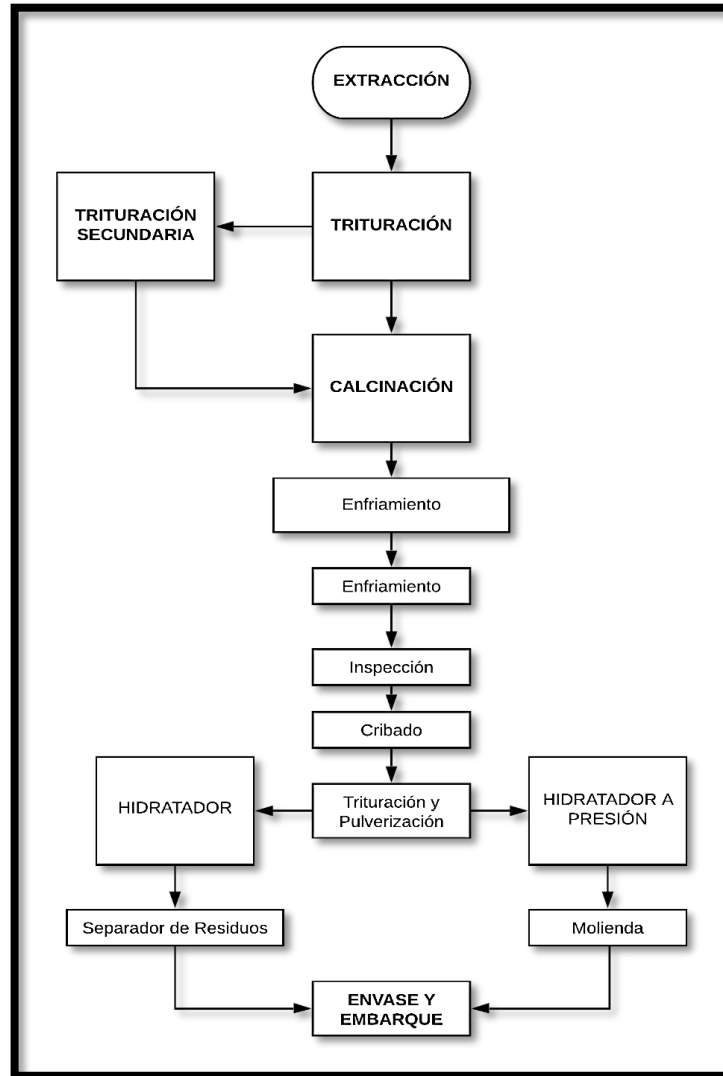


Gráfico 1-2. Etapas de la producción de la cal.

Fuente: (Ministerio de Producción, 2010).

2.9.10. Combustible utilizado para la elaboración de la cal

En el proceso de fabricación de la cal, se usa una variedad de materiales para encender el horno y luego quemarlo, generalmente usando los materiales que se describen posteriormente:

- **Llantas gastadas:** Estos materiales, así como los artículos de plástico, son los más contaminantes de los que se utilizan como combustibles porque su combustión produce grandes cantidades de partículas de humo altamente tóxicas que representan un riesgo para la salud del organismo cancerígeno.
- **Leña:** No existe material forestal exclusivo para el uso de combustible, pero no es limitante para su uso, algunas personas se dedican a buscar trozas o residuos de leña en los alrededores para usar en las caleras.

- **Petróleo diésel y petróleo residual:** Estos combustibles se encuentran entre los más costosos y su uso requiere la instalación de mecanismos de inyección y tanques de almacenamiento, que también son costosos.
- **Otros combustibles:** Puede y casi siempre combinarse con hidrocarburos líquidos, aceites lubricantes usados y aceites de cocina se utilizan para aumentar el volumen de combustible disponible. Estos aceites pueden contener elementos cancerígenos (Arias & Arias, 2014, p. 65).

El combustible más utilizado es la leña de eucalipto, que se utiliza para poner en marcha las caleras y después la cocción de la caliza por su facilidad de disponibilidad y mayor uso para la comercialización y transporte directo a las caleras (Maza, 2011, p. 76).

2.9.11. Quema de leña

La exposición ocasional al humo de leña puede causar solo problemas de salud menores y reversibles, la exposición continua y diaria puede causar daños a la salud mucho mayores (CCE, 2016, p. 76).

2.9.11.1. Principales contaminantes producidos al quemar leña

Cuando se quema la madera, se crean compuestos que pueden causar una variedad de molestias, entre ellas: irritación de los ojos, la nariz y la garganta; dolor de cabeza; náuseas y mareos. Algunos de estos compuestos son:

- **Materia particulado o partículas de materia (PM):** Son partículas finas compuestas por contaminantes adheridos a pequeñísimos pedazos de cenizas y carbono.
- **Monóxido de carbono (CO):** Es un gas sin olor y sin color que reduce la habilidad de la sangre para transportar oxígeno. Es muy venenoso y en altas concentraciones puede causar la muerte.
- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP):** Estos compuestos causan cáncer y están presentes en el humo del cigarrillo y en el hollín de las chimeneas.
- **Compuestos orgánicos volátiles:** Un ejemplo es el benceno que puede causar cáncer y es sumamente irritable.
- **Dioxinas:** Compuestos altamente carcinogénicos que se producen generalmente al quemar leña y al contacto del plástico con altas temperaturas (CCE, 2016, p. 20).

2.9.12. Descargas al medio ambiente en la actividad de la producción de cal

2.9.12.1. Principales impactos

La producción de cal afecta la calidad del aire y la morfología del suelo. En el primer caso, el humo que emite el horno durante el proceso de cocción afecta directa e indirectamente la salud humana, la flora y la fauna y los cuerpos de agua, contribuyendo al cambio climático global. En el segundo caso, el desarrollo de la cantera crea fosas que afectan no solo el paisaje sino también la estructura del suelo, lo que lleva a la deforestación, la pérdida de capas de suelo altamente productivas y la erosión (Siñami & Marcilla, 2012, p. 65).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

Esta investigación se desarrolló en la Parroquia Calpi, donde se localiza la Calera EL REY, cuya principal actividad es la fabricación de cal de forma artesanal, sin considerar las emisiones que se generan de esta actividad que cada vez va en aumento y donde se generan una gran cantidad de contaminantes que son liberados al aire ambiente y afecta al perímetro parroquial, por ende a sus cultivos y vegetación que se han visto afectados por el depósito y acumulación de una capa albina de material particulado al nivel del suelo.

El tipo investigación que se realizó es de campo, porque se obtuvo información directamente del área de estudio y se analizó las características de la emisión de los contaminantes provenientes de las caleras mediante el cálculo de valores de emisión, para posterior generar simulaciones de emisión del contaminante atmosférico en la zona urbana de la parroquia Calpi. En este estudio se utilizaron métodos inductivos. Esto se debe a que se basa en observaciones y experimentos para sacar conclusiones generales sobre hechos y comportamientos específicos y ayuda a generar información y determinar la cantidad a partir de la recopilación y el análisis de datos como SO_x , NO_x y $PM_{2,5}$.

3.2. Localización del Área de estudio

El estudio se realizó en la parroquia Santiago de Calpi de la provincia de Chimborazo, estratégicamente se encuentra junto a la carretera Panamericana que unen las carreteras con destino a la costa, la parte sur de la serranía y la vecina ciudad de Guaranda. Dicha parroquia cuenta con una superficie aproximada de 62,46 km² y está conformada por 17 comunidades y 11 barrios en la cabecera parroquial. La parroquia limita al Norte con las comunidades de San Andrés y el cantón Guano; al Sur con el Río Chibunga, las comunidades Gatazos y el cantón Colta, al Este con la parroquia Licán y cantón Riobamba y al Oeste con la parroquia San Juan.

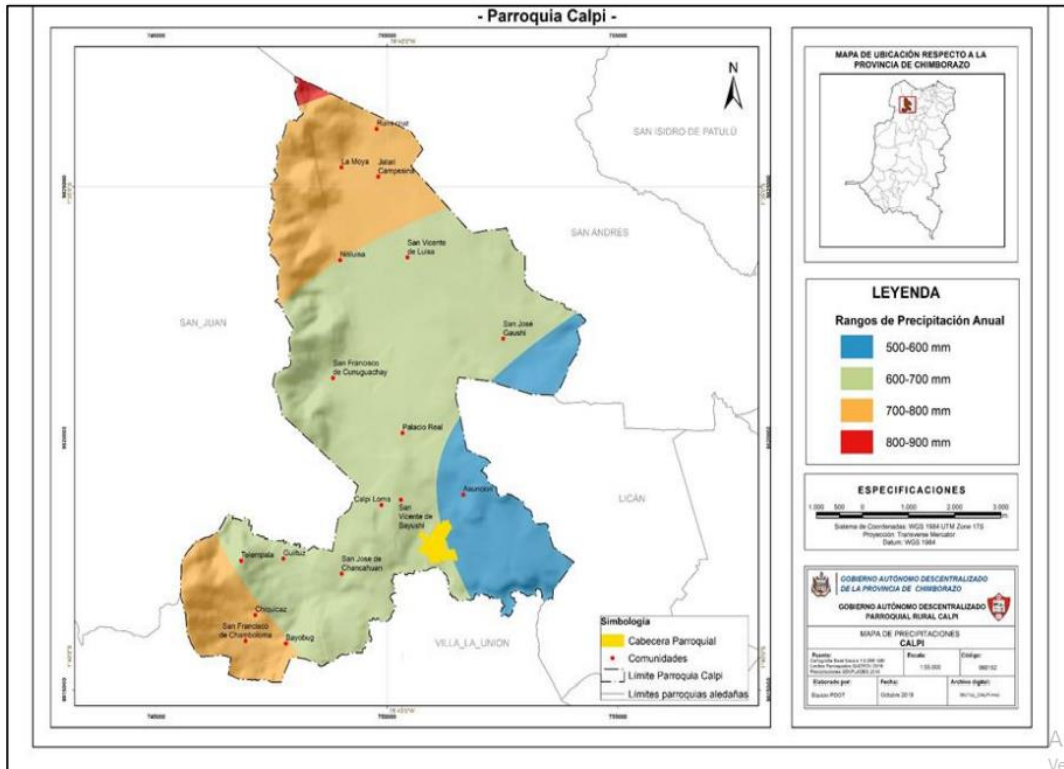


Figura 1-3. Mapa de ubicación de la Parroquia Calpi.

Fuente: PDYOT de Calpi, 2021.

3.3. Descripción del Área de Estudio

El presente estudio, se realizó en la parroquia Calpi del Cantón Riobamba debido a que en los últimos años el aire se ha visto afectado por las emisiones producto de la fabricación de la cal.

La parroquia Calpi está ubicada en al noroeste del cantón Riobamba, la altura promedio de la parroquia esta por los 2780 msnm. La temperatura promedio es de 14 °C. y cuenta con un clima frio característico de las ciudades de esta zona (Reinoso, 2015, p. 56).

Las características del área son:

1. La humedad relativa en la zona es de 65%.
2. La velocidad del viento es de 1.38 m/s.
3. Precipitación atmosférica de 500 - 1000 mm.
4. Presión atmosférica de 550.3 mmHg.
5. Geográficamente se encuentra en las coordenadas: (Latitud: 01° 48'' S, Longitud: 78° 37'' W) (Caiza, 2011, p. 67).

Se inició definiendo la zona geográfica, donde se ubican los puntos de muestreo para la posterior determinación de emisión de los Gases contaminantes; se utilizó el equipo Altair, se aplicaron técnicas como la observación, registros fotográficos y Software informático.

3.4. Determinación del dominio

Durante la visita en campo se identificó 5 Caleras distribuidas en la Parroquia Calpi.

3.5. Selección de la calera de estudio

Debido a que el área en estudio es extensa, ya que abarca todo el cantón; el estudio se limitó a dos caleras de la planta EL REY por la mayor producción (2 ton/día), para ello se aplicó el muestreo por conveniencia.

3.6. Medición de contaminantes.

Cuando se miden los contaminantes atmosféricos emitidos por los hornos, la etapa intermedia de cocción de la cal es la norma y la cantidad emitida a la atmósfera es la más alta. La chimenea utiliza un método de herramienta sin derivación, en el que el control se realiza colocando Altair en la zona de gases de combustión de la pared de la chimenea (Crespo, 2008, p. 45).

Y posteriormente a intervalos de distintas distancias, en los puntos de muestreo seleccionados, se realizó la medición de contaminantes con un total de 5 muestras a una altura de 1,5 metros por cada punto de muestreo, y se obtiene concentraciones de SO_x, PM_{2,5} y NO_x.

Tabla 1-3. Puntos de Muestreo.

Calera	E	S	Distancia
1	750363,00	9817724,00	5 m
2	750363,20	9817724,10	50 m
3	750363,50	9817724,30	100 m

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

3.7. Obtención de datos para la simulación

El software *Screen View* requiere de varios datos de entrada para que la simulación sea posible. Dentro de estos datos se requiere el área y la altura del horno, dimensiones que fueron obtenidas con la ayuda de un flexómetro. Para el cálculo del área de salida de los gases del horno y se utilizó la ecuación 1: $A = L * B$, donde: A es el área de salida de los gases, L la longitud del horno y B el ancho del horno, en él se tuvo un área de 1,78 m².

El equipo *Altair* también permite medir la velocidad de salida de los gases, temperatura del flujo gaseoso como ambiental, presión en la chimenea y flujo volumétrico, datos necesarios para la simulación de dispersión.

Las características topográficas de la zona de estudio fueron determinadas con el programa *ArcGIS 10.8* y el *Screen View*, con el fin de establecer si se trata de un terreno simple o complejo según definiciones del software de modelamiento.

3.8. Meteorología

El cálculo de datos meteorológicos se realizó mediante diversos instrumentos, entre ellos el higrómetro de Marca hach-20011, mismo que debe calibrarse durante 2 minutos, posteriormente se registran las coordenadas del punto de muestreo, al mismo tiempo que se realizan las mediciones con el equipo Altair posterior determinar los datos de la velocidad del viento al igual que la salida de los gases se determinó mediante el Flujómetro de marca Chemetron previa calibración por 5 minutos. Los datos meteorológicos se obtuvieron en la estación meteorológica ESPOCH-Riobamba del INHAMI.

3.9. Simulación de la dispersión

Con los datos obtenidos se procedió a la simulación de dispersión de los contaminantes con el uso del software *Screen View 4.0.1*, incluyendo datos de entrada tales como: tipo de fuente, coeficiente de dispersión, altura de la fuente, área de la fuente, velocidad y temperatura de salida de los gases, características del terreno, tipo de distancias y rango de emisión (Jaya & Vásquez 2012, p. 49).

Tabla 2-3. Datos de entrada en el software *Screen View*

Datos	1	2	3
Tipo de fuente	Puntual	Puntual	Puntual
Coefficiente de Dispersión	Dispersión en zona rural	Dispersión en zona rural	Dispersión en zona rural
Altura del horno	M	M	M
Área del horno	m ²	m ²	m ²
Velocidad de salida de los gases	m/s	m/s	m/s
Temperatura de salida de los gases	K	K	K
Características del terreno	Simple	Simple	Simple
Tipo de distancias	Discretas	Discretas	Discretas
Rango de emisión	M	M	m

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Adicional a esto, se requiere el flujo másico de gases que se determina a partir de la ecuación

$$\dot{m} = Q * [C], \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

Q es el caudal

[C] es la concentración

Que a se determina con la ecuación de los gases ideales $PV = \frac{m}{P_m} RT.$ Ec. 3

El software empleado proporcionó una relación entre la distancia de dispersión del contaminante y su concentración frente a un objeto específico, en este caso las edificaciones y casas, dicha relación permite conocer el punto en el que el contaminante tiene mayor y menor concentración para así seleccionar las zonas de aplicación de encuestas (López, 2020, p. 56).

3.10. Representación gráfica de la dispersión de contaminantes

Se elaboró un mapa de dispersión para representar la dirección que sigue los penachos, el cual se utilizó el software ArcGIS 10.8 y se configura a coordenadas a UTM WGS84 zona 17 sur, con los datos extraídos del programa Screen View utilizó para dicho modelado las coordenadas con de los puntos de muestreos con las concentraciones de contaminantes en relación a la dirección del viento y a las distancias discretas medidas, con estos datos se logró una matriz en Excel la cual se importó al programa ArcGIS en formato “CSV delimitado por comas” (Elizabeth 2018, p. 89).

3.11. Determinación de dispersión con muestreo activo

Se realizó a una distancia de 100 metros de la chimenea del horno de cocción de la calera, y a una altura de 1,50 metros, en la que se colocó el equipo Altair, y se procedió a la toma de datos a intervalos de tiempo de 1 hora, ya que este dispositivo permite medir todos los contaminantes en una sola muestra y tiempo, facilitando el monitoreo activo en los 5 días durante la cocción de la cal.

3.12. Cálculo de la correlación de los datos y error

3.12.1. Cálculo de la Incertidumbre

Marca de clase

$$xi = \frac{L_S - L_I}{2} \quad \text{Ec. 4}$$

Media

$$\bar{x} = \frac{\sum x*f}{N} \quad \text{Ec. 5}$$

Cálculo de Incertidumbre

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} xi}{N}} \quad \text{Ec. 6 (Quezada 2008, p. 67).}$$

3.12.2. Coeficiente de Pearson

Es el coeficiente que permite determinar una correlación positiva o negativa de los datos entre la concentración media de los contaminantes del muestreo activo y del modelado por Screen View y se calcula mediante las ecuaciones 7 al 12:

Media marginal de X

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} xi}{N} \quad \text{Ec. 7}$$

Media marginal de Y

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{10} yi}{N} \quad \text{Ec. 8}$$

Desviación típica marginal de x

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} xi}{N}} \quad \text{Ec. 9}$$

Desviación típica marginal de y

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} yi}{N}} \quad \text{Ec. 10}$$

Covarianza:

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{10} xiyi}{N} - \bar{x}\bar{y} \quad \text{Ec. 11}$$

Coeficiente de Pearson

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y} \quad \text{Ec. 12}$$

Rendimiento

$$p = \frac{r - \sigma_{xy}}{r} * 100$$

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Identificación del área de estudio

Se identificó dos caleras dentro de la parroquia Calpi, por cual, para este caso de estudio se utilizó el muestreo por conveniencia, en donde se define como un procedimiento de muestreo cuantitativo en el que el investigador selecciona a los participantes, ya que están dispuestos y disponibles para ser estudiados (Creswell, 2008, p. 56). Por medio de este tipo de muestreo se identificó la Calera el rey que es la de mayor producción dentro del área de estudio y se fijaron los puntos de monitoreo que se muestran en la ilustración 1-4.

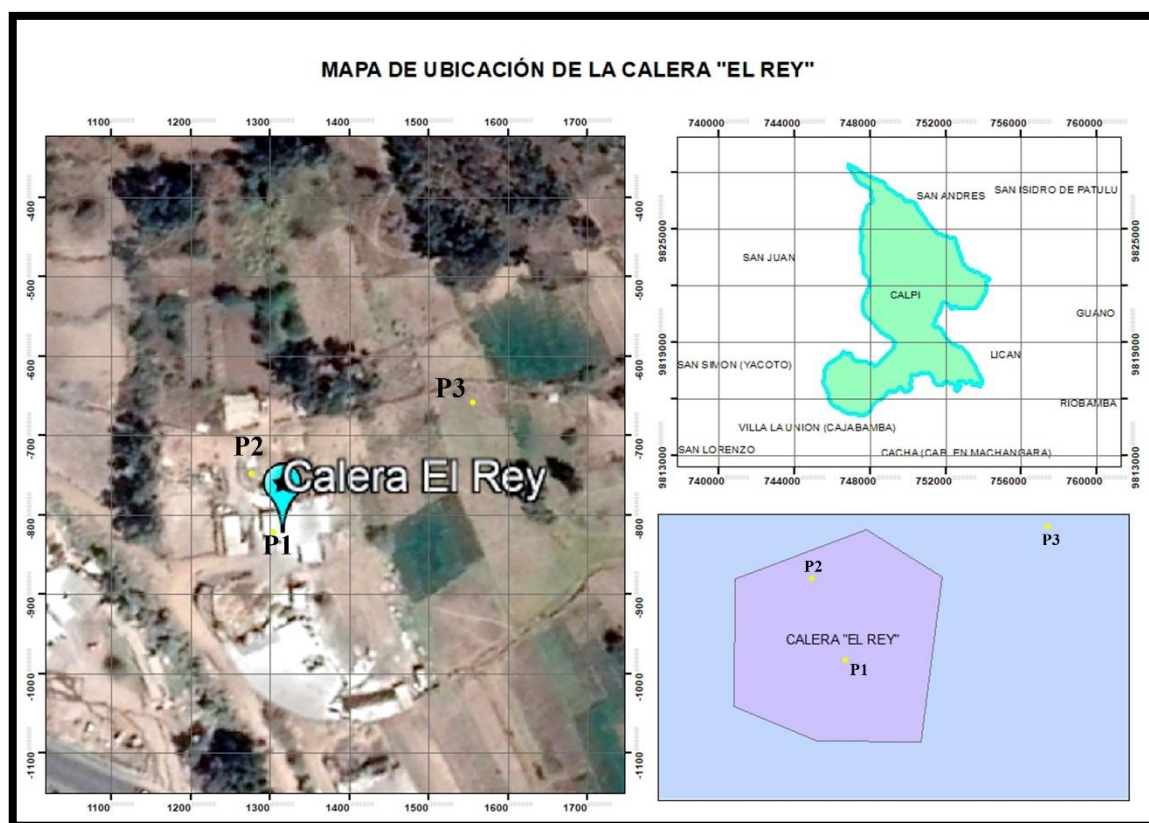


Figura 1-4. Calera el Rey y Ubicación de los puntos de monitoreo.
Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

4.1.1. Determinación de emisión de SO_x , $PM_{2,5}$ y NO_x

4.1.1.1. Determinación de emisión de SO_x

Los valores de emisión de SO_x que se obtuvo con el equipo Altair en el periodo de cocción de la Cal del 20 al 25 de septiembre del 2021 de la calera Rey se presentan en la Tabla 1 y 2.

Las zonas de muestreo dentro de las instalaciones de la calera, se realizó por 4 horas continuas y los resultados determinados no existió alguna variabilidad entre los valores obtenidos de las emisiones del horno y por ende se comparó los límites permisibles de acuerdo con la norma establecida por la OMS y conjuntamente con el Acuerdo Ministerial 097-A.

Tabla 1-4. Concentración de SO_x contaminantes en el horno de la Calera el Rey.

Hora	Concentración de SO_x (ppm) en la Calera				
	Día 1 (SO_x ppm)	Día 2 (SO_x ppm)	Día 3 (SO_x ppm)	Día 4 (SO_x ppm)	Día 5 (SO_x ppm)
8,00	0,50	0,50	0,10	0,10	4,60
9,00	1,90	0,00	0,20	0,10	0,50
10,00	2,10	0,50	0,70	0,10	0,60
11,00	2,00	0,50	0,70	0,20	1,20
Sumatoria	6,50	1,50	1,70	0,50	6,90
Promedio	1,30	0,30	0,34	0,10	1,38

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Estos resultados son mayores a los considerados permisibles y es probable que los valores observados debieran analizarse teniendo en cuenta otras variables tales como la altura sobre el nivel del mar, condiciones meteorológicas. Y por ende comparado con el al Acuerdo Ministerial 097-A que establece un límite permisible 0,5 ppm tomando en cuenta que la calera se encuentra en la zona no urbana como una fuente fija, las emisiones si supera los límites permisibles y puede repercutir en la salud de las personas que viven dentro del perímetro del horno. Los promedios de concentración de SO_x tenemos que son mayores al límite permisible, según la (OMS, 2018, p. 67) una mantener una exposición a SO_x mayor a 0,5 ppm puede generar infecciones respiratorias crónicas y además afecciones en los pulmones e irritación en los ojos. Por eso la importancia de establecer un modelamiento de dispersión de contaminantes dentro de la Calera.

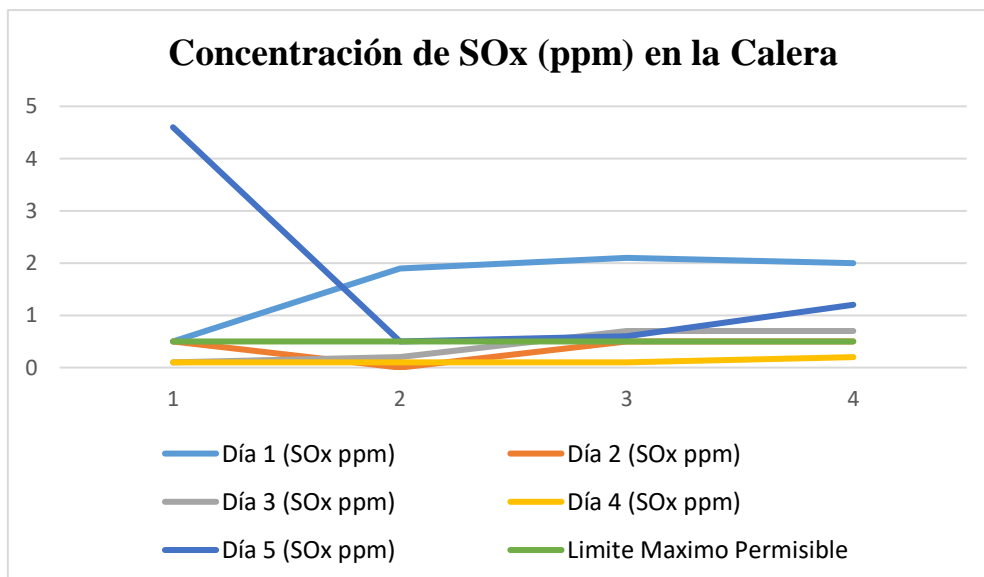


Gráfico 1-4. Relación entre los valores obtenidos de emisión de SO_x frente al valor Máximo Permissible de 0,5 ppm según el Acuerdo Ministerial 097-A.

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Los valores que se obtuvo de la concentración de las emisiones de SO_x, se han comparado cada una por día vs el valor máximo permisible de 0,5 ppm en la Calera. El primer día fue 1,3 ppm con una concentración alta, ya que por las condiciones meteorológicas sin la presencia de vientos el contaminante tiende a concentrarse cerca del perímetro del penacho de la calera, el segundo día arrojó un resultado de 0,3 ppm en promedio ya que fue una concentración baja por motivos de unas ligeras lluvias durante la toma de datos, esto hace que las gotas de lluvia tiende a fisionarse conjuntamente con dicho contaminante, el tercer día con 0,34 ppm en promedio la concentración varía por la presencia de vientos y en el cuarto día con 0,1 ppm la carga contaminante es muy baja por la presencia de vientos fuertes, lo que permite una dispersión de contaminantes, finalmente el quinto día se obtuvo un promedio de 1,38 ppm por tener vientos con velocidades muy bajas esto en contraste con lo mencionado en la investigación de (Oleas, 2019, p. 50). Estos resultados son evidentemente mayores a los considerados permisibles por el acuerdo ministerial 097-A, además de los valores que obtuvo (López, 2012, p. 70) y es probable que los valores observados debieran analizarse teniendo en cuenta otras variables tales como la altura sobre el nivel del mar, condiciones meteorológicas, y radiación solar, etc.

4.1.1.2. Determinación de emisión de NO_x

Tabla 2-4. Concentración de NO_x contaminantes en el horno de la Calera el Rey.

Concentración de NO (ppm) en la Calera					
Hora	Día 1 (NOx ppm)	Día 2 (NOx ppm)	Día 3 (NOx ppm)	Día 4 (NOx ppm)	Día 5 (NOx ppm)
8,00	663	143	187	788	911
9,00	881	161	672	927	961
10,00	837	104	570	850	928
11,00	459	21	124	0,2	662
Sumatoria	2840	429	1553	2565,2	3462
Promedio	710	107,25	388,25	641,3	865,5

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Los resultados obtenidos en los monitoreos son mayores a los considerados permisibles para NO_x de fuentes fijas con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A que tiene como límite permisible 20 ppm de concentración, dicha calera se encuentra en la zona no urbana, esto puede repercutir en la salud de las personas que viven cerca del perímetro de la calera ya que el valor promedio es de 641,3 ppm. Mientras los datos de NO_x según la (OMS, 2018, p. 66) y (Torres, 2018, p. 90) mencionan que una exposición de NO_x mayor a 20 ppm puede generar afecciones en los pulmones e irritación en los ojos, además la pérdida del olfato si se expone por más de una hora.

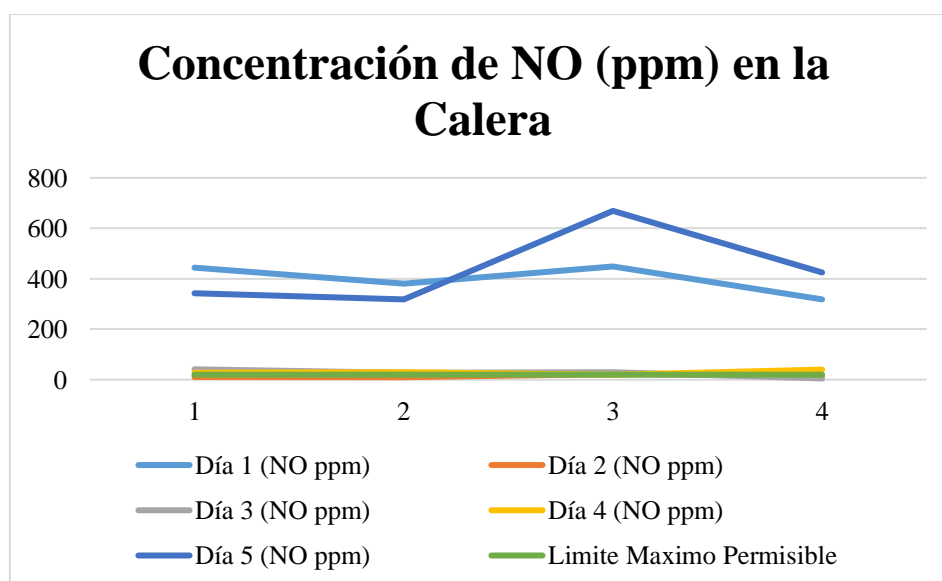


Gráfico 2-4. Relación entre los valores obtenidos de emisión de NO_x frente al límite permisible 20 ppm del acuerdo ministerial 097-A.

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Las concentraciones obtenidas de monóxido de nitrógeno, mediante su comparación con la tabla 2, se puede observar que en la Calera sobrepasan los límites permisibles mediante el Acuerdo Ministerial 097-A de 20 ppm en concordancia a los niveles de concentración. Se procedió a comparar los datos obtenidos por día vs el valor máximo permisible en la Calera. En el primer día la concentración fue: 710 ppm en promedio por las variaciones de la velocidad del viento, el segundo día con 107,25 ppm en promedio por las condiciones meteorológicas muy variante, para el tercer día se obtuvo una concentración promedio de 388,25 ppm ya que, por la velocidad del viento a 1.50 metros de altura se concentra el flujo de carga contaminante en nuestro equipo, además la presencia de arbustos que obstaculiza la dispersión del contaminante, así los resultados no existe una mayor desviación en las concentraciones siguientes, tal como es el caso para el cuarto día 641,30 ppm y el quinto día obtuvo un promedio de 315,12 ppm además el horno estaba en la máxima cocción. Estos resultados son mayores a los considerados permisibles comprados por el Acuerdo Ministerial 097-A, en base a lo mencionado por (Samaniego, 2018, p. 88) y es probable que los valores observados debieran analizarse teniendo en cuenta otras variables como la altura sobre el nivel del mar y radiación solar.

4.1.1.3. Determinación de emisión de $PM_{2,5}$

Tabla 3-4. Concentración de $PM_{2,5}$ contaminantes en el horno de la Calera el Rey.

Concentración de $PM_{2,5}$ (ppm) en la Calera					
Hora	Día 1 (PM ppm)	Día 2 (PM ppm)	Día 3 (PM ppm)	Día 4 (PM ppm)	Día 5 (PM ppm)
8,00	443,20	11,20	41,1	27,80	342,80
9,00	381,00	9,80	27,0	28,90	318,20
10,00	448,80	22,20	29,60	19,40	669,00
11,00	318,20	17,30	4,90	40,00	425,60
Sumatoria	1591,20	60,50	102,60	116,10	1755,60
Promedio	318,20	12,10	20,50	23,20	351,10

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Los resultados obtenidos durante los monitoreos son mayores a los considerados permisibles para $PM_{2,5}$ de fuentes fijas con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A que tiene como límite permisible 15 ppm y dichas emisiones de la calera “El Rey” se encuentra dentro del casco parroquial, por ende, puede repercutir en la salud de las personas que viven en la parte baja de la parroquia, ya que el valor promedio es de 154 ppm. Los datos promedio de $PM_{2,5}$ son mayores al límite permisible, según la (OMS, 2018, p. 66) y (Torres, 2018, p. 90) mencionan que una exposición

de PM_{2,5} mayor a 15 ppm puede generar afecciones en los pulmones, si se expone por más de una hora.

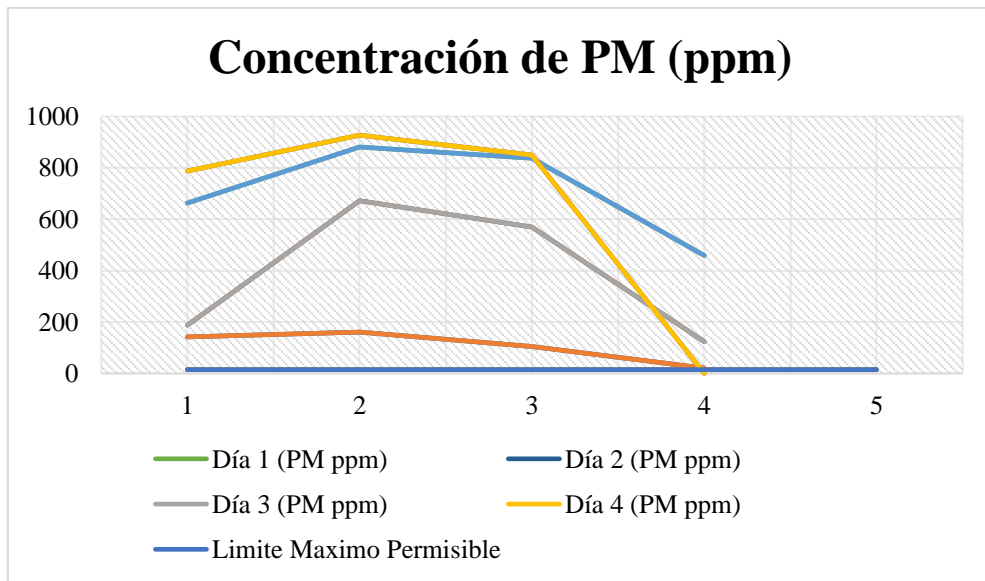


Gráfico 3-4. Relación entre los valores obtenidos de emisión de PM 2,5 frente al límite permisible para fuentes fijas es de 15 ppm.

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Las concentraciones del material particulado que se muestra en la tabla 3, y se procedió a comparar los límites permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A que es 15 ppm en concordancia a los niveles señalados. Comparando cada día vs el valor máximo permisible de emisión en la Calera, la concentración de PM_{2,5} para el primer día 318,24 ppm en promedio ya que se encuentra cerca de la chimenea de la calera y la velocidad de viento es baja, para el segundo día 12,1 ppm en promedio por las condiciones climáticas y una ligera llovizna varía los datos, para el tercer día con 20,25 ppm y para el cuarto día con 23,22 ppm a cierta distancia se dispersa el material particulado por la velocidad del viento y mediante la observación una capa blanquecina a nivel del suelo y en arbustos y finalmente el quinto día obtuvo un promedio de 315,12 ppm una variación por la velocidad del viento. Estos resultados son superiores, esto se contrasta con (Maxwell, 2017, p. 87) en su evaluación de material particulado del Cantón Cuenca, que también son mayores a los considerados permisibles por el acuerdo ministerial 097-A

4.1.2. Validación de datos - Índice de Incertidumbre de NO_x

Esta etapa se realizó con el fin de validar los datos de emisión de NO_x obtenidos en campo, durante la cocción de la cal, en la calera el Rey, de mayor producción de la parroquia Calpi.

Tabla 4-4. Índice de Incertidumbre de NO_x

Sumatoria de Promedio de NO por día	NO (Xi)	Media (X)	Incertidumbre	Incertidumbre mínima	Incertidumbre media	Incertidumbre máxima
318,24	79,56	36,26	2,96	33,30	36,26	39,22
12,10	3,025	36,26		33,30	36,26	39,22
20,52	5,13	36,26		33,30	36,26	39,22
23,22	5,805	36,26		33,30	36,26	39,22
351,12	87,78					
	181,30					
	36,26					

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Entonces la medida correcta de este grupo de datos es: $36,26 \pm 2,96$ que significa que los datos son válidos ya que se encuentran tanto dentro de los límites de incertidumbre. Para fundamentar esto último se lo puede realizar por medio del gráfico 4, como menciona (Torres, 2018, p. 92) que la incertidumbre se debe mantener entre 1 y 5 para que los datos sean confiables pues si es mayor ya poseen un error y los datos tomados no es tan confiable para los estudios.

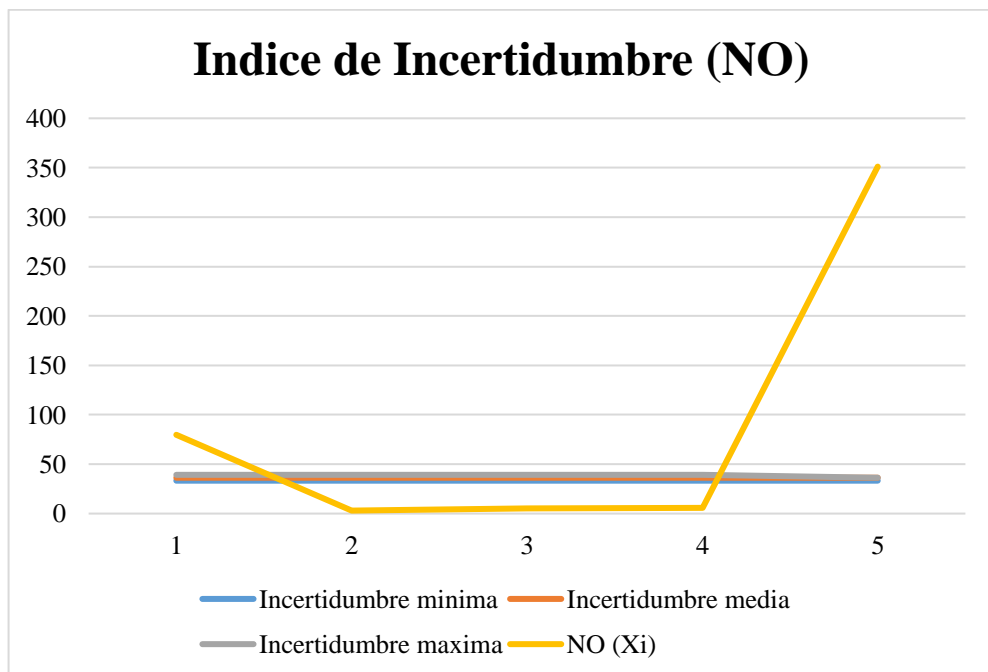


Gráfico 4-4. Índice de Incertidumbre

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

En el gráfico 4 se indica que los datos obtenidos durante el monitoreo son válidos y se encuentran dentro de los límites tanto máximos como mínimos de incertidumbre, y no superan el valor de 5 dando una confianza del 95% a excepción de los datos del primer día y 5 en

comparación con la media de los valores obtenidos de los monitoreos de NOx esto debido a que en la misma se encontró mayores valores de emisión a diferencia de las otras, esto se debe a que en este punto se cuenta con un horno de mayor capacidad de producción.

4.1.3. Validación de datos - Índice de Incertidumbre de SOx

Esta etapa se realizó con el fin de validar los datos de emisión de SOx obtenidos en campo, durante la cocción de la cal, en las caleras El Rey de la Parroquia de Calpi.

Tabla 5-4. Índice de Incertidumbre de SOx

Sumatoria de Promedio de SOx por día	SOx (Xi)	Media (X)	Incertidumbre	Incertidumbre mínima	Incertidumbre media	Incertidumbre máxima
1,30	0,43	0,23	2,05	-1,82	0,23	2,28
0,30	0,10	0,23		-1,82	0,23	2,28
0,34	0,11	0,23		-1,82	0,23	2,28
0,10	0,03	0,23		-1,82	0,23	2,28
1,38	0,46	0,23				
	1,14					
	0,23					

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Por lo tanto, medida correcta de este grupo de datos es: $0,228 \pm 2.05$ lo que significa que datos obtenidos son válidos y se encuentra dentro de los límites de incertidumbre. Lo que se evidencia en el grafico 5-4.

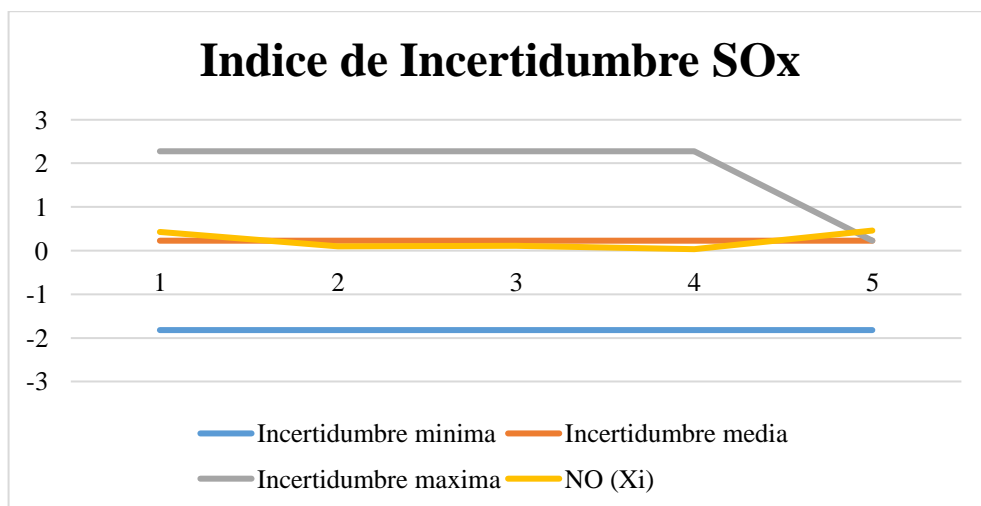


Gráfico 5-4. Índice de Incertidumbre SOx.

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

El gráfico 5 indica que los datos obtenidos son válidos y se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos de incertidumbre, por lo tanto, los datos poseen una incertidumbre aceptable dentro los rangos 1 y 5 tal como menciona (Torres, 2018, p. 93).

4.1.4. Validación de datos - Índice de Incertidumbre de $PM_{2.5}$.

Esta etapa se realizó con el fin de validar los datos de emisión de $PM_{2.5}$ obtenidos en campo, durante la cocción de la cal, de mayor producción de la Parroquia de Calpi.

Tabla 6-4. Índice de Incertidumbre de $PM_{2.5}$.

Sumatoria de Promedio de PM por día	PM (Xi)	Mediana (X)	Incertidumbre	Incertidumbre mínima	Incertidumbre media	Incertidumbre máxima
710	177,50	135,61	2,96	132,65	135,61	138,57
107,25	26,81	135,61		132,65	135,61	138,57
388,25	97,06	135,61		132,65	135,61	138,57
641,3	160,32	135,61		132,65	135,61	138,57
865,5	216,37	135,61		132,65	135,61	135,61

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

La medida correcta de este grupo de datos es: $0,228 \pm 2.96$ lo que significa que los datos son válidos y se encuentra dentro de los límites de incertidumbre. Para fundamentar esto último se lo puede realizar por medio del gráfico 6-4:

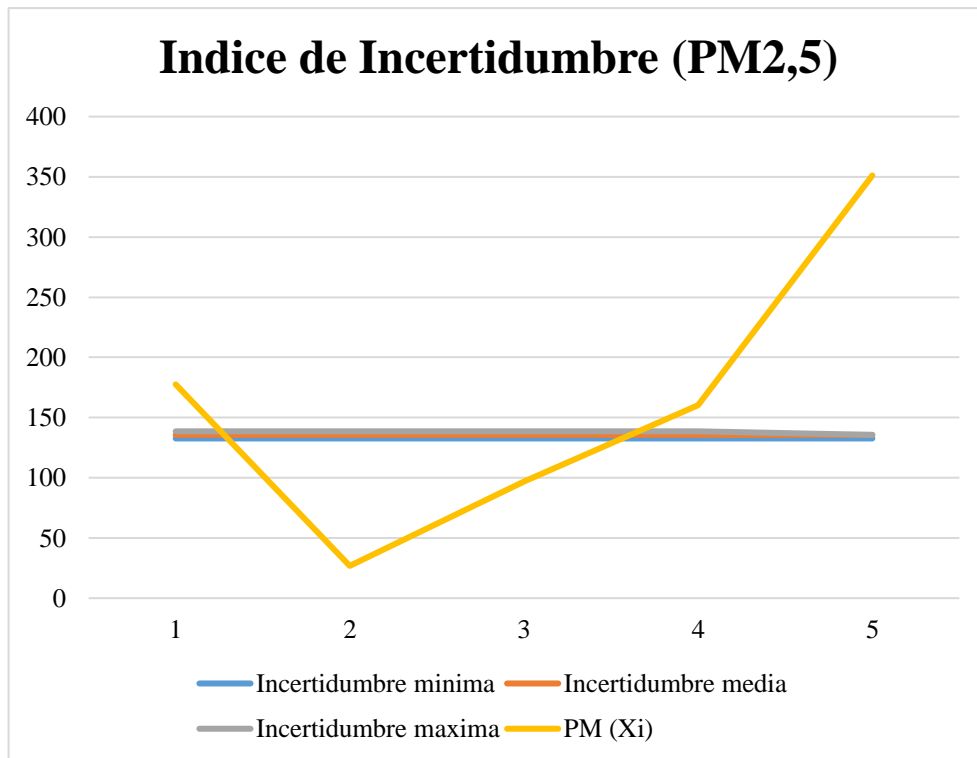


Gráfico 6-4. Índice de Incertidumbre de los datos monitoreados para PM_{2,5}

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

En el gráfico 6, indica los datos obtenidos son válidos y se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos de incertidumbre como menciona (Torres, 2018, p. 93) que la incertidumbre se debe mantener entre 1 y 5 para que los datos sean confiables pues si es mayor ya poseen un error que ya no vuelve confiable los datos.

4.1.5. Determinación de dispersión de NOx

Los datos obtenidos de NOx durante el monitoreo se procede a realizar la interpolación de los mismos mediante modelado con Screen View, logrando el siguiente modelo de dispersión del contaminante.

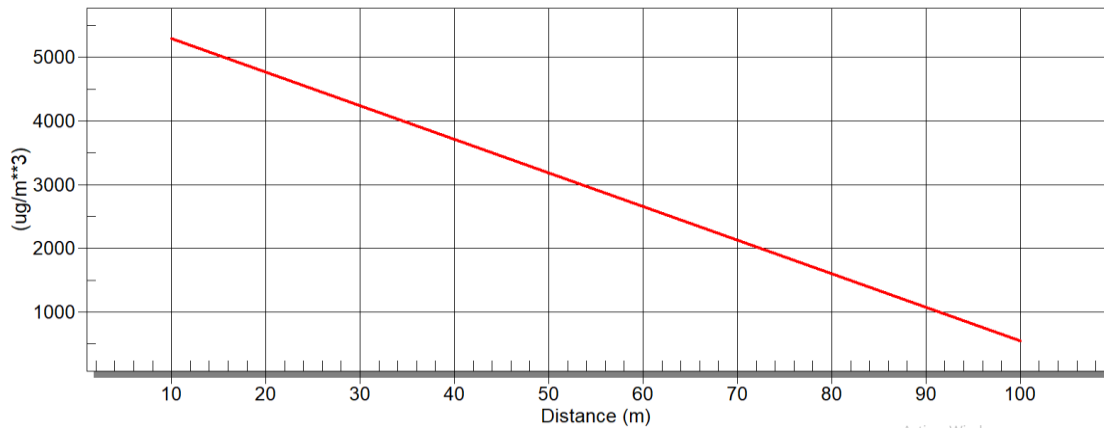


Gráfico 7-4. Modelamiento de dispersión de contaminante para NOx

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

El modelo de dispersión para los valores de monóxido de nitrógeno, debido a la cantidad de producción del hornos, los puntos mayores de concentración se encuentran al sureste del área en estudio, siendo en la parroquia Calpi, el punto de mayor concentración de las Caleras es de 438,9 ppm y el menor de 15,13 ppm, de acuerdo a (Elizabeth, 2018, p. 89 y Cruz 2015, p. 95), también monitoreó NOx en hornos de Caleras de producción única de cal, con un periodo de 5 horas continuas obtuvo datos similares a nuestro resultado solo con la diferencia que se tiene un monitoreo de dicho contaminante a los 100 m para poder confirmar que la dispersión de dicho contaminante es la real y para lo cual tenemos el resultado que podemos ver en el gráfico de SCREEN VIEW 4.0.1 ya que a los 100 m se tiene un valor de 7,2 ppm que concuerda con lo que nos muestra el gráfico que también se asemeja a lo que obtuvo (Maza & Quishpy 2011, p. 67).

4.1.6. Determinación de dispersión de SOx

Con los datos obtenidos de SOx en el monitoreo se realizó la interpolación de los mismos mediante modelado de dispersión Screen View, logrando el siguiente modelo de dispersión del contaminante.

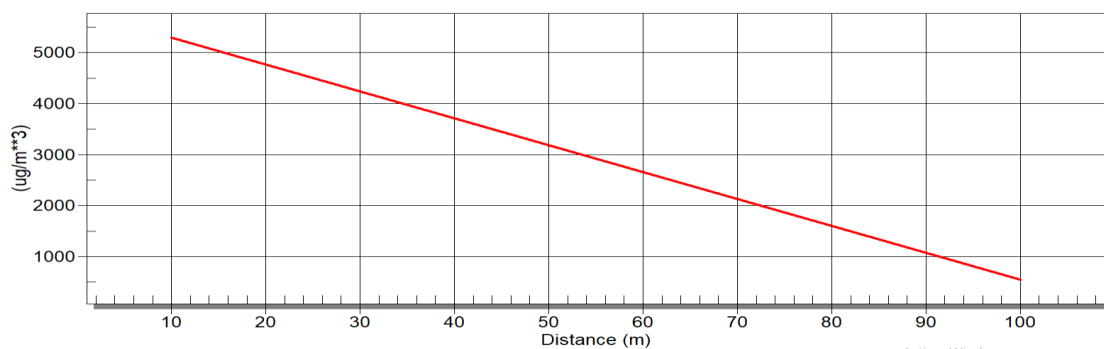


Gráfico 8-4. Modelamiento de dispersión de contaminante para SOx

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

El modelo de dispersión para los valores de SO_x, debido a la cantidad de producción del hornos, los puntos mayores de concentración se encuentran al sureste del área en estudio, siendo en la parroquia Calpi, de 1,73 ppm y el menor de 0,13 ppm, de acuerdo a ELIZABETH en 2018 y Diego Cruz en 2015, en la que también se monitoreo SO en hornos de Caleras de producción única de cal, con un periodo de 5 horas continuas se tienen datos similares a los recientes obtenidos solo con la diferencia que se tiene un monitoreo de dicho contaminante a los 100 m para poder confirmar que la dispersión de dicho contaminante es la real y para lo cual tenemos el resultado que podemos ver en el gráfico 8 que, a los 100 m tiene un valor de 0.12 ppm que se mantiene dentro de los márgenes que obtuvo (Maza & Quishpy 2011, p. 89). Y por ende esto va a variar por las condiciones meteorológicas y tipología del terreno.

4.1.7. Determinación de dispersión de PM_{2,5}

Los datos a partir de los monitoreos para PM_{2,5} para realizar la interpolación de los valores monitoreados del contaminante, mediante sistemas de modelado de dispersión Screen View, logrando el modelo de dispersión del contaminante en el grafico 9.

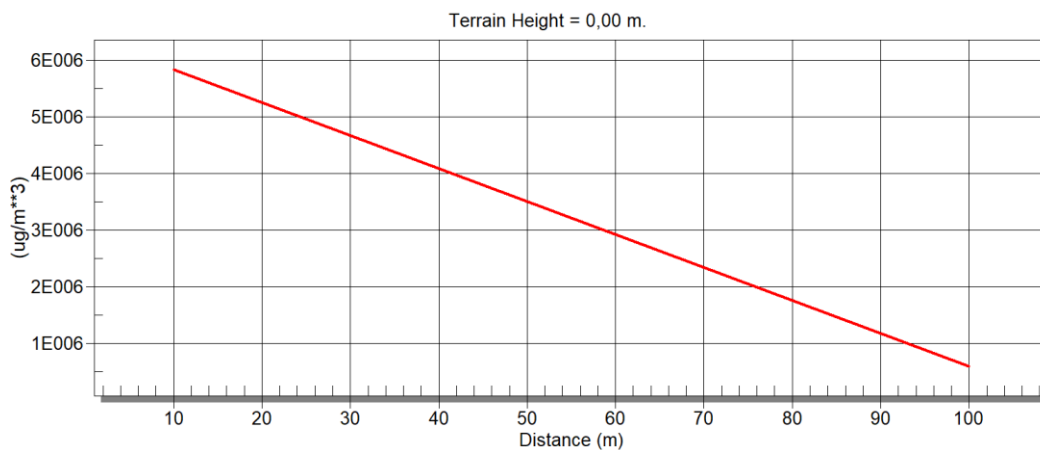


Gráfico 9-4. Modelamiento de dispersión de contaminante para PM_{2,5}

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

El modelo de dispersión para los valores de PM_{2,5}, se presenta en el grafico 9 debido a la cantidad de producción del lote en el horno de la calera, ya que los puntos mayores de concentración se encuentran al sureste del área en estudio, siendo en el barrio denominado Inmaculada de la parroquia Calpi, el punto de mayor concentración de la calera es de 669 ppm y el menor de 4,9 , de acuerdo a (Quiroz, 2018, p. 97), en la que también monitoreo PM_{2,5} en caleras del cantón Azogues, con un periodo de 5 horas continuas se tienen datos similares a los recientes obtenidos solo con la diferencia que se tiene un monitoreo de dicho contaminante a los

60 m para poder confirmar que la dispersión es la real y para lo cual tenemos el resultado del gráfico 9, a 100 m se tiene un valor de 6 ppm que concuerda con nuestro estudio.

4.1.8. Determinación de dispersión de NO a 100 metros con el Monitoreo Activo.

Con los datos obtenidos de NO durante el monitoreo se procede a realizar la interpolación de los mismos mediante sistemas de información geográfica, logrando el siguiente modelo de dispersión del contaminante, teniendo en cuenta los datos monitoreados durante 5 días.

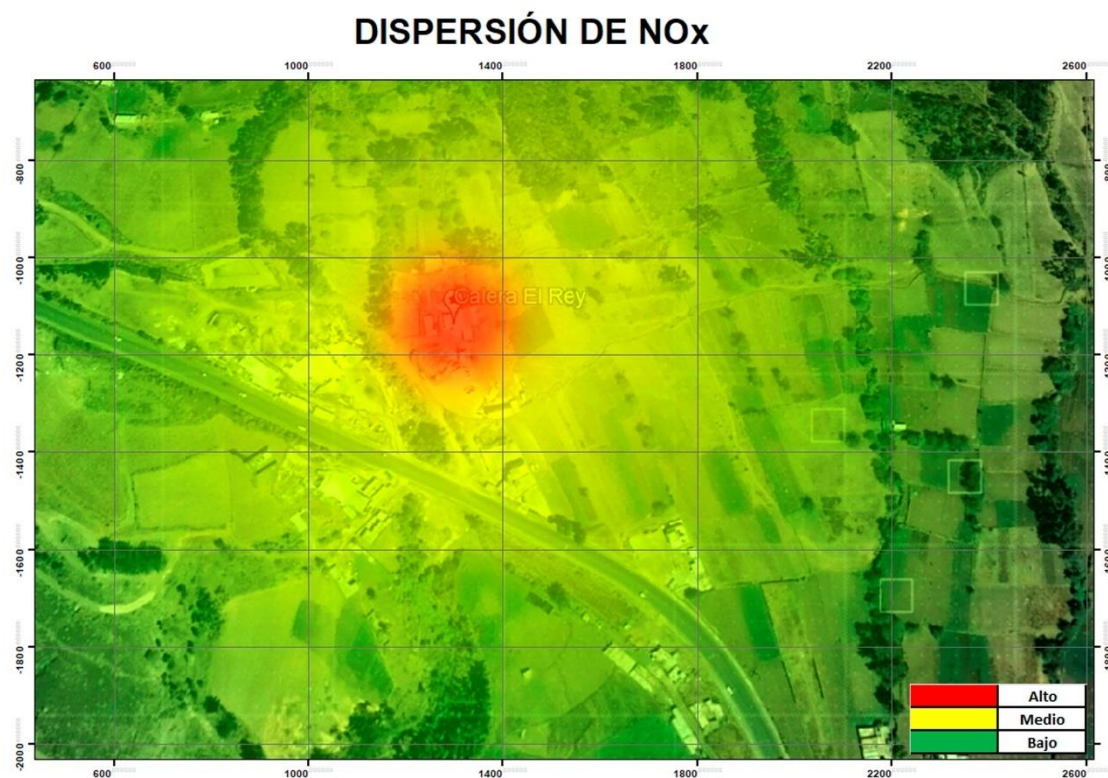


Figura 2-4. Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para NO_x.

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Tabla 7-4. Monitoreo activo a 100 metros de NO_x.

Hora	Concentración de NO (ppm) en la Calera				
	Día 1 (NO _x ppm)	Día 2 (NO _x ppm)	Día 3 (NO _x ppm)	Día 4 (NO _x ppm)	Día 5 (NO _x ppm)
8	20	8	17	12	21
9	15	12	18	20	13
10	20	15	20	8	15
11	8	20	15	17	17
Promedio	15,75	13,75	17,5	14,25	16,5

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

En la interpolación de los datos se tiene los siguientes rangos: Alto con 710 ppm en un rango de 0-20 m en los que la contaminación de NOx supera los límites permisibles mientras, que Medio con una concentración de 20 ppm con un rango de 20-60 m se tiene una concentración media tolerable según la norma y un nivel bajo con una concentración promedio de 8 ppm, con un rango de 60-100 m el contaminante toma una concentración mínima por lo que (Benitez 2017, p. 56) menciona en su investigación que los hornos de las caleras que presentan estas características topográficas generan una dispersión dentro de estos parámetros y se puede verificar con el monitoreo activo que se realizó a dicha distancia, que corrobora con un coeficiente de correlación de 0.1 con la dispersión lo que valida la incertidumbre.

4.1.9. Determinación de dispersión de SOx a 100 metros con el Monitoreo Activo.

Con los datos obtenidos de SOx durante el monitoreo se realizó la interpolación de los mismos mediante sistemas de información geográfica, logrando el siguiente modelo de dispersión del contaminante durante 5 días.

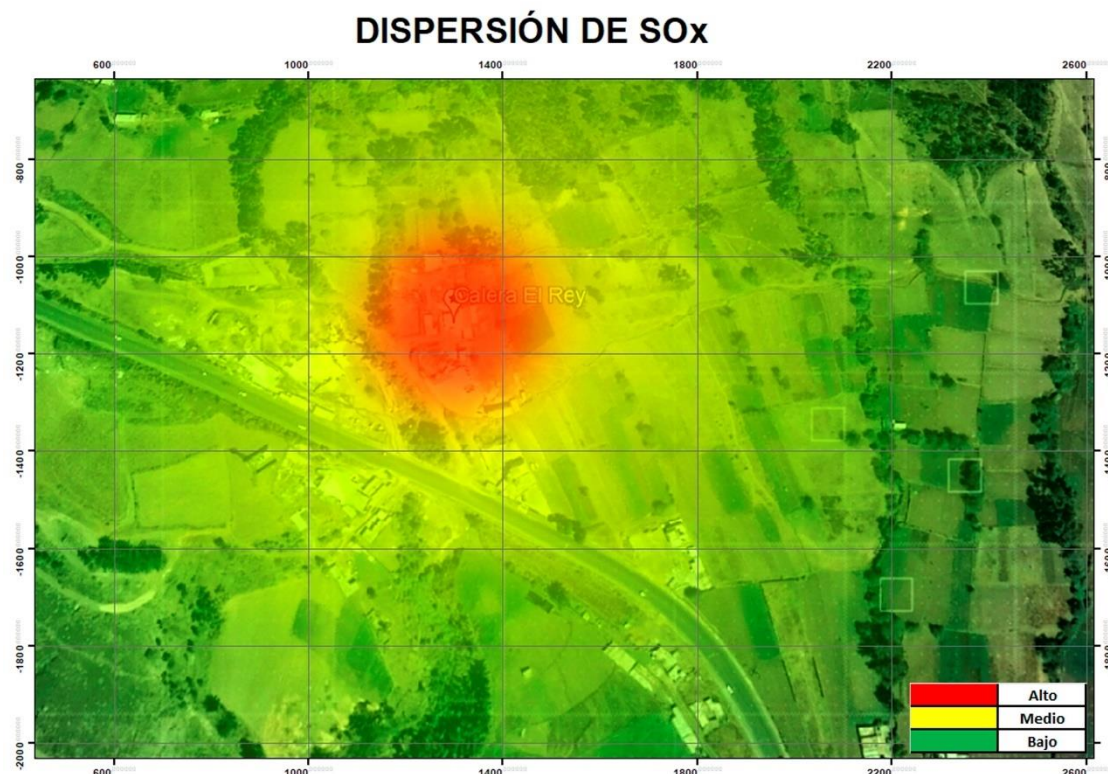


Figura 3-4. Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para SOx

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Tabla 8-4. Monitoreo activo a 100 metros de SOx.

Concentración de SOx (ppm) en la Calera					
Hora	Día 1 (SOx ppm)	Día 2 (SOx ppm)	Día 3 (SOx ppm)	Día 4 (SOx ppm)	Día 5 (SOx ppm)
8	0,10	0,10	0,20	0,35	0,10
9	0,20	0,05	0,20	0,25	0,25
10	0,020	0,50	0,35	0,15	0,10
11	0,05	0,01	0,14	0,12	0,14
Sumatoria	0,17	0,66	0,89	0,87	0,59
Promedio	0,04	0,17	0,22	0,21	0,14

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

En la interpolación de los datos se tiene rangos: Alto con 4,6 ppm en un rango de 0-20 m en los que la contaminación de SOx supera los límites permisibles mientras que, un nivel Medio con una concentración de 0,5 ppm con un rango de 20-60 m ya que se tiene una concentración media tolerable según la norma y nivel Bajo con una concentración promedio de 0,01 ppm, con un rango de 60-100 m el contaminante toma una concentración mínima por lo que (Sotomayor, 2012, p. 56) menciona en su investigación que los hornos que presentan estas características topográficas generan una dispersión dentro de estos parámetros y podemos verificar con el monitoreo activo que se realizó a dicha distancia, que corrobora con un coeficiente de correlación de 0.3 con la dispersión lo que valida la incertidumbre.

4.1.10. Determinación de dispersión de PM_{2,5} a 100 metros con el Monitoreo Activo

Con los datos obtenidos de PM_{2,5} durante el monitoreo se procede a realizar la interpolación de los mismos mediante sistemas de información geográfica, logrando el siguiente modelo de dispersión del contaminante, teniendo en cuenta los datos monitoreados durante 5 días.

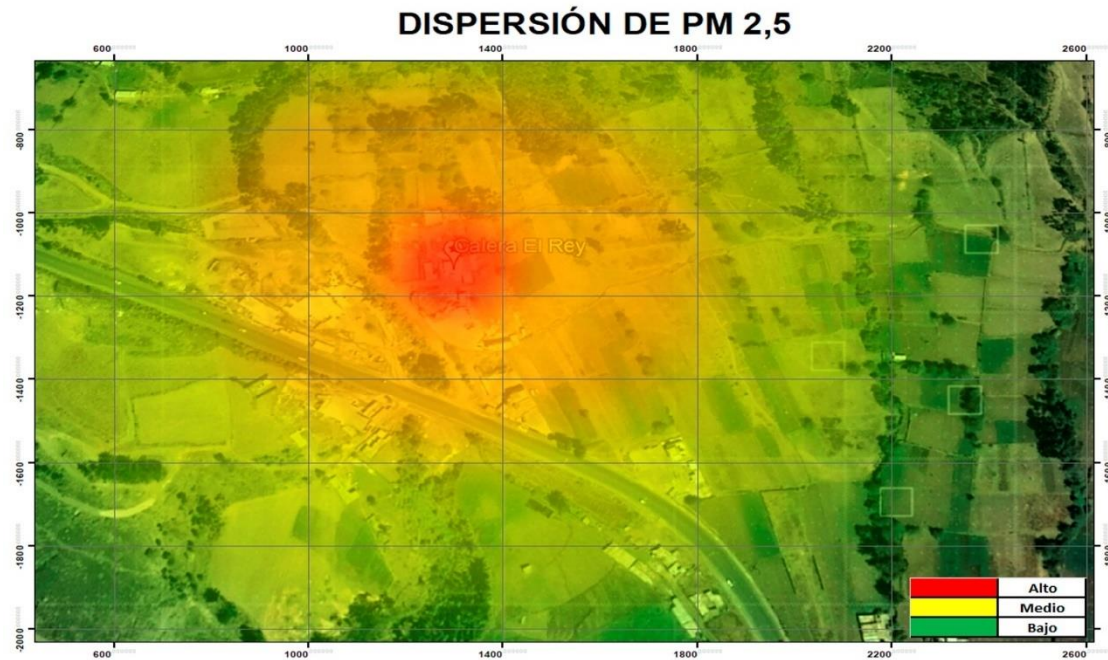


Figura 4-4. Dispersión de contaminantes de los datos monitoreados para PM_{2,5}

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Tabla 9-4. Monitoreo activo a 100 metros

Hora	Concentración de PM 2,5 (ppm) en la Calera				
	Día 1 (PM ppm)	Día 2 (PM ppm)	Día 3 (PM ppm)	Día 4 (PM ppm)	Día 5 (PM ppm)
8	20	21	22	25	20
9	10	18	27	21	27
10	11	11	12	27	28
11	11,10	25,4	20	30	30
Sumatoria	52,1	75,4	81	103	105
Promedio	13,02	18,85	20,25	25,75	26,25

Realizado por: Cubi, Hugo, 2022.

Podemos mencionar en la interpolación de los datos se tiene los siguientes rangos: Nivel alto con 1591 ppm entre 0-50 m en los que la contaminación de PM_{2,5} supera los límites permisibles, mientras que un nivel Medio con una concentración de 22 ppm con un rango de 50-80 m ya que tiene una concentración media tolerable según la norma 097-A y nivel Bajo con una concentración promedio de 11 ppm, con un rango de 80 m en adelante el contaminante toma una concentración mínima por lo que (Torres, 2017, p. 89) menciona en su investigación que los hornos que presentan estas características topográficas generan una dispersión dentro de estos parámetros y en contraste podemos verificarlo con el monitoreo activo que se realizó a dicha distancia, que corrobora con un coeficiente de correlación de 0.3 con la dispersión lo que valida la incertidumbre.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de los contaminantes emitidos al aire ambiente por la fuente fija son 36,26 ppm de NO y de SOx 0,23 ppm en el caso de los NO tenemos que en promedio si se sobrepasa de los límites permisibles.
- De acuerdo con el modelamiento tenemos que la dispersión de los contaminantes por medio de SCREEN VIEW y la interpolación IDW en ARCGIS tenemos que los contaminantes si sobrepasan los límites dentro de un radio de 20 m y luego de esto están en un nivel medio tolerable según la norma hasta los 60 metros y en adelante se encuentran en valores menores a los permisibles por la norma.
- Para el error que se obtuvo entre los datos del muestreo activo y SCREEN VIEW corresponde a tener un valor menor al 5% pues los valores correspondientes en ambos no difieren por lo que se puede concluir que la simulación que genera SCREEN VIEW es válida para tomar como una referencia de la dispersión de los contaminantes en esta zona. Por lo que como hallazgo principal tenemos que los contaminantes han tenido un comportamiento similar al 95%, en contraste con el error que arroja la incertidumbre, volviendo de esta forma confiable y una eficiencia cercana al 100% que valida la dispersión de los contaminantes en el Software SCREEN VIEW.

RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos más continuos para determinar la afectación a la salud por la presencia de material particulado.
- Interactuar con los factores meteorológicos para tener valores más exactos de la dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Implementar un plan de mejoras para reducir la contaminación que generan los hornos de la calera.
- Realizar un plan de mitigación y control para que los hornos de cocción de la cal sean más eficientes.
- Socializar los datos registrados en el presente estudio a todas las personas aledañas a las caleras, para la toma de acciones de mitigación en caso de ser necesario o actividades de prevención para mantener o disminuir los niveles de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

ALTIERI, MIGUEL A Y NICHOLLS, C., *Revista de agroecología LEISA*, Cambio climático y agricultura campesina : impactos y respuestas adaptativas. vol. 24, no. 4, pp. 5-8. 2011.

ADAME, R. *Contaminación ambiental y calentamiento global*. Trillas, Contaminación ambiental y calentamiento global. Trillas, México.2010.

ALDÁS, L. V. *Diagnóstico y monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Central del Ecuador*. Diagnóstico y monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Central del Ecuador. Quito. 2013.

ALMIRÓN, M., DALMASSO, A., & LLERA, J. *Evaluación de material particulado sedimentable en una calera de los Berros-San Juan-Argentina*. San Juan, Argentina: Scielo, 29-38. 2013.

ARAGON, A. *Caracterización de partículas suspendidas con elementos pesados por microscopía electrónica de barrido*. San Luis de Potosí, México. 2011.

ATSDR, a. f. *Reseña toxicológica de compuestos químicos*. Reseña toxicológica de compuestos químicos. ToxFAQs, 1-4. 2018.

BAQUERO, J. *La depredación ambiental por la industria del ladrillo en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo*. Riobamba: IPSUM. Bergman, J. (13 de mayo de 2011). Ventanas al universo. Obtenido de carbón negro: https://www.windows2universe.org/earth/climate/black_carbon.html&lang=sp

CCE. *Cuánto más sabes sobre quemar leña*. Coronel, Chile: Observatorio ecológico de coronel. 2016.

DÍAZ, V. *Informe de la calidad del aire en Quito*. Informe de la calidad del aire en Quito. Quito, Pichincha. 2015.

ERAZO, R. *Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México*, México: Revista internacional de contaminación ambiental, 22(1), 5-15.

ESPINOZA, C. *Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador.* 2009-2013. Contaminantes. Cuenca-Ecuador: Revista de Ciencias Ambientales de la U de Cuenca. 2014.

ARIAS, L., & ARIAS, I. *Producción artesanal de ladrillo en Coronado Municipio de Palmira (Valle del Cauca), relacionado con la contaminación atmosférica y su posible impacto con la salud de las personas de la comuna 1.* Colombia: Universidad de Manizales.

ATSDR. *Curso de toxicología para comunidades.* Atlanta: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.(2009).

Baquero, J. *La depredación ambiental por la industria del ladrillo en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo.* Riobamba: IPSUM. 2013.

BAYAR, S., “Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del parque industrial de la ciudad de cuenca, mediante los software screen view 3 y disper 5.2“dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del parque in. *U. de Cuenca*, pp. 102. 2018.

CLARO, J.P., *Tipos de contaminantes atmosféricos.* Asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia Jairciño. *UNAD*, vol. 2507, no. February, pp. 1-9. 2020.

CUBAS, W., *Universidad de Cajamarca.* Impacto ambiental de las ladrilleras ubicadas en Santa Barbara - Cajamarca. [en línea], vol. 3, no. 3-24, pp. 2014. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/618/T666.737C9622014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 2014.

DOLIBETH, C., *Universidad Catolica De Mogrovego* Tesis para Optar el Título de Especialista. [en línea], pp. 61. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2718/3/TL_CarhuajulcaDelgadoDolibeth.pdf. 2018.

ELIZABETH, C.O.M., *Universidad nacional de chimborazo* Determinación de niveles de co de ladrilleras y su posible afectación a la formación de carboxihemoglobina en el cantón chambo. [en línea], vol. S.N., no. S.N., pp. 2018. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4789/1/UNACH-EC-ING-AMB-2018-0008.pdf>.

GALLEGOS, A., LANG, B., et. al. *Acta Nova,* Contaminación atmosférica por la fabricación

de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas. vol. 3, no. 2, pp. 192-210.

GONZÁLES, L. & SÁNCHEZ, A., *Angewandte Chemie International Edition*, Determinación De Material Particulado Sedimentable Proveniente Del Parque Industrial Del Cantón Cuenca Y Su Influencia En Las Zonas Aledañas. no. 11, pp. 57. ISSN 1098-6596. 2021.

IPARRAGUIRRE MEDINA, R.L. & VALDIVIA TORRES, A.G., *Universidad Católica Sedes Sapientiae*, Caracterización y problemática de las ladrilleras en Huachipa-Lurigancho-Lima. 2018.

JAYA, J.L. & VÁSQUEZ, J.L., Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles. Tesis de grado, 2012.

MAE, *Reforma texto unificado legislacion secundaria, medio ambiente, libro vi, Decreto Ejecutivo 3516*. Reforma texto unificado legislacion secundaria, medio ambiente, libro vi, decreto ejecutivo 3516. [en línea], vol. 0, pp. 18-34. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>.

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN. *Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*. Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales. Perú. 2010.

MAZA QUISHPY, M.E., *Producción más limpia para ladrilleras en la parroquia Sinincay*. Trabajo De Grado Previo a La Obtencion Del Titulo De Biologo, vol. 0, no. 0, pp. 20'30. 2011.


NOBOA, K.P.M., *Evaluación Espacio–Temporal De La Perdida De Carbono Orgánico Ocasionada Por La Producción De Ladrillos En El Cantón Chambo*. S.l.: s.n. ISBN 0603938531. 2015.

PDOT CHAMBO. *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chambo*. Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chambo. Chambo. 2014.

QUEZADA, A., *Alternativas de evaluación del lenguaje en niños pre escolares*. Universidad Nacional De Chimborazo. [en línea], pp. 53. ISSN ISC. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>.

SIÑAMI, S., & MARCILLA, B. *Problemática ambiental producida por las ladrilleras.* Problemática ambiental producida por las ladrilleras. 2012.

VELLEGAS PARDO, J. *Evaluacion de la ecoeficiencia en las ladrilleras del distrito Mariscal Benavides, provincia Rodriquez de Mendoza,* Evaluacion de la ecoeficiencia en las ladrilleras del distrito Mariscal Benavides, provincia Rodriquez de Mendoza, Amazonas. , 2016.



DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Hugo German Cubi Pilco
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



1091-DBRA-UTP-2022