



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

**Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de la zona urbana del cantón Chordeleg**

Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Ambiental

Autor:

Juan Enrique Orellana Orellana

CI: 0104543467

Correo electrónico: juanoorellanaorellana@gmail.com

Directora:

Ing. Diana Lucía Moscoso Vanegas, PhD

CI: 0102339454

**Cuenca - Ecuador**

08-enero-2020



**Resumen:**

El cantón Chordeleg cuenta con una matriz productiva basada en la producción artesanas, que en sus procesos productivos generan contaminantes que son emanados hacia la atmosfera; por lo que es necesario la elaboración de un inventario de fuentes fijas de contaminación atmosférica mediante mediciones de material particulado sedimentable y la estimación de gases de combustión mediante factores de emisión con el objetivo de cuantificar la carga contaminante generada y determinar los puntos críticos de contaminación en el cantón.

El estudio analiza 29 puntos críticos referentes a la generación de material particulado sedimentable de los cuales 12 sobrepasan el límite máximo permisible estipulado en el TULSMA, mientras que son 20 los puntos que sobrepasan la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), siendo el punto MP\_A\_8 el de mayor generación en todo el estudio; por otro lado, la estimación de gases de combustión se realizó en 14 puntos críticos, llegando a determinar que el monóxido de carbono es el contaminante que se genera en mayor porcentaje en relación al dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, tanto a nivel general como en cada uno de los puntos. En el centro cantonal, el sector del Terminal Terrestre es el que se encuentra mayormente afectado por las emisiones de material particulado sedimentable y el sector de Chaurinzhin debido a las emisiones de gases de combustión. Las sugerencias expuestas en el estudio deberían ser analizadas por las autoridades competentes para determinar el accionar correcto sobre el tema.

**Palabras claves:** Inventario de emisiones. Material particulado sedimentable. Gases de combustión. Factores de emisión.



**Abstract:**

The canton Chordeleg has a productive matrix based on the production of handicrafts, which in their production processes generate pollutants that are emanating into the atmosphere; Therefore, it is necessary to prepare an inventory of fixed sources of air pollution through measurements of sedimentable particulate material and the estimation of combustion gases through emission factors with the objective of quantifying the pollutant load generated and determining the critical points of pollution in the canton

The study analyzes 29 critical points regarding the generation of sedimentable particulate material, of which 12 exceed the maximum permissible limit stipulated in TULSMA, while 20 points exceed the standard established by the World Health Organization (WHO), point MP\_A\_8 being the highest generation in the entire study; On the other hand, the estimation of combustion gases was carried out at 14 critical points, determining that carbon monoxide is the pollutant generated in the highest percentage in relation to nitrogen dioxide and sulfur dioxide, both in general and in each of the points. In the cantonal center, the Terrestrial Terminal sector is the one that is mostly affected by the emissions of sedimentable particulate matter and the Chaurinzhin sector due to combustion gas emissions. The suggestions presented in the study should be analyzed by the competent authorities to determine the correct action on the subject.

**Keywords:** Emissions inventory. Sedimentable particulate material. Combustion gases. Emission factors.



## Índice del Trabajo

<b>Resumen:</b> .....	2
<b>Abstract:</b> .....	3
<b>DEDICATORIA</b> .....	10
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b> .....	14
<b>1.1 Calidad del aire</b> .....	14
<b>1.2 Contaminación atmosférica.</b> .....	14
<b>1.2.1 Fuentes de contaminación atmosférica</b> .....	15
<b>1.2.2 Tipos de contaminantes</b> .....	16
<b>1.3 Inventario de emisiones atmosféricas.</b> .....	18
<b>1.4 Representación gráfica.</b> .....	22
<b>CAPÍTULO 2. METOLOGÍA</b> .....	23
<b>2.1 Delimitación del área de estudio.</b> .....	23
<b>2.2 Recopilación de la información.</b> .....	23
<b>2.3 Definición de características del Inventario</b> .....	24
<b>2.3.1 Muestra</b> .....	24
<b>2.3.2 Variables</b> .....	24
<b>2.4 Encuesta</b> .....	25
<b>2.5 Selección del método de estimación</b> .....	26
<b>2.5.1 Puntos de muestreo.</b> .....	26
<b>2.5.2 Descripción de actividades productivas relacionadas a la emisión de gases de combustión.</b> .....	26
<b>2.5.2 Estimación de emisiones mediante el uso de factores de emisión</b> .....	27
<b>2.6 Medición de material sedimentable.</b> .....	28
<b>2.6.1 Puntos de muestreo</b> .....	28
<b>2.6.2 Descripción de actividades productivas relacionadas a la generación de material particulado sedimentable.</b> .....	28
<b>2.6.2 Implementación de muestreadores y análisis de material particulado sedimentable</b> .....	30



<b>2.7 Representación gráfica de contaminantes emanados.....</b>	<b>32</b>
<b>CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Selección del método de interpolación.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Material particulado sedimentable.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Estimación de gases de combustión.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.1.1 Monóxido de Carbono (CO) .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.1.2 Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.1.3 Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>).....</b>	<b>58</b>
<b>CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Recomendaciones.....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro urbano del cantón Chordeleg.....	23
Figura 2. Pasos técnicos para desarrollar un inventario de emisiones .....	25
Figura 3. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica. ....	27
Figura 4. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica. ....	29
Figura 5. Diagrama del proceso de Carpintería. ....	29
Figura 6. Diagrama del proceso de construcción de casas prefabricadas. ....	29
Figura 7. Diagrama del proceso utilizado en una bloquera. ....	30
Figura 8. Puntos de muestreo de material particulado sedimentable.....	36
Figura 9. Comparación de material particulado sedimentable con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA .....	40
Figura 10. Dispersión del material particulado sedimentable.....	44
Figura 11. Puntos de muestreo de estimación de emisiones.....	46
Figura 12. Estimación de emisiones por contaminante.....	48
Figura 13. Estimación de las emisiones de CO por punto de muestreo.....	49
Figura 14. Dispersión de Monóxido de Carbono (CO).....	54
Figura 15. Estimación de las emisiones de NO <sub>x</sub> por punto de muestreo.....	55
Figura 16. Dispersión de Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) .....	57
Figura 17. Estimación de las emisiones de SO <sub>x</sub> por punto de muestreo.....	58
Figura 18. Dispersión de Óxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> ).....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro urbano del cantón Chordeleg.....	23
Figura 2. Pasos técnicos para desarrollar un inventario de emisiones .....	25
Figura 3. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica. ....	27
Figura 4. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica. ....	29
Figura 5. Diagrama del proceso de Carpintería. ....	29
Figura 6. Diagrama del proceso de construcción de casas prefabricadas. ....	29
Figura 7. Diagrama del proceso utilizado en una bloquera. ....	30
Figura 8. Puntos de muestreo de material particulado sedimentable.....	36
Figura 9. Comparación de material particulado sedimentable con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA .....	40
Figura 10. Dispersión del material particulado sedimentable.....	44
Figura 11. Puntos de muestreo de estimación de emisiones.....	46
Figura 12. Estimación de emisiones por contaminante.....	48
Figura 13. Estimación de las emisiones de CO por punto de muestreo.....	49



Figura 14. Dispersión de Monóxido de Carbono (CO).....	54
Figura 15. Estimación de las emisiones de NO <sub>x</sub> por punto de muestreo.....	55
Figura 16. Dispersión de Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) .....	57
Figura 17. Estimación de las emisiones de SO <sub>x</sub> por punto de muestreo.....	58
Figura 18. Dispersión de Óxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> ).....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de emisión por contaminante emitido por la combustión de leña. ...	27
Tabla 2. Determinación del error entre los métodos de interpolación para material particulado sedimentable.....	34
Tabla 3. Determinación del error entre los métodos de interpolación para gases de combustión.....	34
Tabla 4. Concentración de material particulado sedimentable por punto de muestreo. ....	37
Tabla 5. Clasificación según el límite máximo permisible del TULSMA. ....	42
Tabla 6. Estimación de emisiones de gases contaminantes.....	47
Tabla 7. Emisiones por hora, mes y año. ....	50
Tabla 8. Clasificación de las emisiones de CO según el rango. ....	52
Tabla 9. Clasificación de las emisiones de NO <sub>x</sub> según el rango. ....	56
Tabla 10. Clasificación de las emisiones de SO <sub>x</sub> según el rango.....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Puntos de muestreo de estimación de emisiones.....	66
Anexo 2. Puntos de muestreo de material particulado sedimentable.....	69



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Juan Enrique Orellana Orellana en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de la zona urbana del cantón Chordeleg", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de enero de 2020

Juan Enrique Orellana Orellana

C.I: 0104543467





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Juan Enrique Orellana Orellana autor/a del trabajo de titulación "Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de la zona urbana del cantón Chordeleg", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 08 de enero de 2020

Juan Enrique Orellana Orellana

C.I: 0104543467



## DEDICATORIA

El camino hacia lograr esta meta de obtener mi título universitario ha sido muy difícil y emocionante a la vez. Por lo que este trabajo se lo dedico primeramente a Dios por ser el guía en mi camino y darme la fortaleza para poderme levantar en los momentos duros que han pasado en el transcurso de mi carrera universitaria.

Al igual que se lo dedico a mis padres Juan y Dora, que gracias a ellos he logrado todo lo que me propuesto, por su apoyo incondicional a pesar de haber cometido muchos errores en mi vida siempre han estado junto a mi brindándome valores y las debidas enseñanzas para salir adelante en cada momento de mi vida.

A mi hermana Marianela, su esposo Fena y a mis queridos sobrinos Fernandito y Nicholas, que aunque no se encuentren en estos momentos junto a mi puedo sentir el apoyo que me brindan cada día con una palabra de aliento o un simple te quiero que nace del corazón, les dedico este título porque quiero ser un ejemplo y el orgullo para ellos.

La amistad es un tesoro muy valioso por lo que también la dedicatoria va para todos mis amigos de la Universidad, en especial para Vale, Magus, Caro, Pachi, Peñita, Carlos, José, Paula, Pancito, Dani, Paolita, con los que pude convivir los últimos años y aprendí mucho de Uds.; Para mis mejores amigos Queso, Mayuco, Ale, Chovis y Paula que también estuvieron presentes en todos los momentos conmigo, no me queda más que decirles GRACIAS.

Y por ultimó a toda mi familia por el apoyo brindado cada día y su preocupación de que logre mis metas propuestas.



## **AGRADECIMIENTOS**

Es extensivo mi agradecimiento a la Universidad de Cuenca por la apertura de sus puertas para brindarnos la educación necesaria y convertir de nosotros personas de bien, llenas de valores y unos buenos profesionales.

A mis profesores por las enseñanzas brindadas cada día en el transcurso de la carrera universitaria, de manera especial al Blgo. Danilo Mejía y al Dr. Giovanni Larriva por el apoyo brindado en la realización de mis practicas pre profesionales y en la elaboración de este trabajo de graduación.

Un especial y fraterno agradecimiento a la Ing. Diana Moscoso, PhD, por proporcionarme la paciencia, tiempo, enseñanzas y sobre todo la confianza para lograr elaborar este trabajo.

Finalmente un agradecimiento al GAD Municipal de Chordeleg y cada uno de los talleres contemplados en el trabajo, por proporcionarme la apertura y los datos necesarios para realizar el estudio.



## INTRODUCCIÓN

El cantón Chordeleg es considerado como la “Cuna de Artesanos” debido a que en dicho cantón la matriz productiva se basa desde épocas atrás en la confección de joyas, cerámica, calzado y muebles de manera artesanal, lo cual viene siendo un legado familiar de los artesanos.

Las artesanías exclusivas del cantón Chordeleg son uno de los pilares fundamentales para tener prestigio a nivel mundial, como lo ha considerado la UNESCO al denominar Ciudad Creativa al cantón Chordeleg. La habilidad innata de los artesanos Chordelences es lo que ha permitido crear múltiples piezas de arcilla con un estilo propio y característico codiciado por propios y extranjeros, logrando así posesionarse como uno de los principales lugares de producción de cerámica a nivel nacional e internacional.

El crecimiento poblacional en el cantón es el motivo del surgimiento de varios emprendimientos, entre los más considerables están la fabricación artesanal de joyas, cerámica, alfarería, construcción de casas, muebles, artesanías de madera, y la fabricación artesanal de bloques de hormigón. Las actividades a más de producir un ingreso económico a los propietarios generan ciertos malestares a los pobladores aledaños de los distintos talleres por las emisiones de contaminantes gaseosos, polvos y ruido generado en los procesos productivos. Los contaminantes mencionados, en la actualidad son considerados como uno de los principales problemas ambientales del cantón (Pinos, 2017).

En el cantón Chordeleg existen 601 actividades económicas divididas en 84 distintos rubros que han sido consideradas para realizar el inventario existente en el GAD municipal (Pinos, 2017). Los rubros que son considerados críticos en la emisión de material particulado sedimentable son casas prefabricadas, fabricación de alfarería y piezas de cerámica, bloquera y carpintería, mientras que para los de gases de combustión es solo la fabricación de alfarería y piezas de cerámica. La emisión de contaminantes hacia la atmosfera por los distintos procesos productivos es una de las principales problemáticas que afecta al cantón, debido a que la generación de contaminantes altera la calidad del aire del sitio lo cual produce molestias tanto en lo social y en la salud en los pobladores.



El presente estudio tiene por objetivo principal que la elaboración de un inventario de emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas críticas del cantón Chordeleg, mediante el uso de factores de emisión y el análisis de las concentraciones de material particulado sedimentable, por lo cual viene siendo de suma importancia la creación de dicho inventario debido a que permite la obtención de la línea base de las emisiones que están afectando la calidad del aire del cantón.

Los factores de emisión son utilizados comúnmente en la generación de inventarios de emisiones con resultados favorables, por lo que en este estudio se utilizará para estimar emisiones de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>), mientras que para la determinación de material particulado se hará uso de la metodología explicada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (Ministerio del Ambiente [MAE], 2015).

El inventario existente en el cantón se encuentra realizado de manera general y subjetiva ya que cuenta con poca información real sobre la cantidad de emisiones y material particulado generado por las actividades productivas, por lo que se contemplan los siguientes objetivos específicos: a) Determinar los tipos de fuentes de contaminación atmosférica existentes en la zona urbana. b) Corroborar los datos del inventario del GAD Municipal del cantón Chordeleg mediante el uso de encuestas. c) Cuantificar las emisiones contaminantes mediante el uso de factores de emisión y recolección de material particulado para compararlos según la normativa nacional. d) Representar gráficamente las zonas de mayor contaminación atmosférica mediante la creación de mapas.



## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Calidad del aire**

El aire es uno de los cuatro principales elementos que existen en nuestro planeta y es fundamental para la existencia de vida en el planeta debido a que forma parte de la atmósfera terrestre, que al sufrir alteraciones por distintas causas antropogénicas o naturales deterioran su calidad produciendo cambios en el desarrollo de la vida interfiriendo incluso en el clima regional (Egger, 2003).

La calidad del aire es un indicador del estado de contaminación atmosférica en una área geográfica específica (IDEAM, 2012), y se lo relaciona de manera directa con la salud y los efectos en el medio ambiente.

### **1.2 Contaminación atmosférica.**

La atmósfera es considerada parte fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta Tierra, debido a que está formada por distintos gases necesarios para la existencia de los seres vivos. La contaminación atmosférica desde hace mucho tiempo viene siendo un tema de análisis a nivel mundial por su presencia en todas las sociedades y afección a la salud humana. Se trata del aumento de la concentración de sustancias peligrosas (contaminantes atmosféricos) en un tiempo determinado en la atmósfera, provocando que no se cumpla con los procesos naturales de transformación, precipitación o dilución que se realizan en la atmósfera (Yassi, Kjellstrom, Kok & Guidotti, 2002). El crecimiento poblacional a nivel mundial es uno de los problemas más evidentes de la contaminación atmosférica debido a que conjuntamente con él se desarrolla un crecimiento industrial acelerado y en muchos casos deficiente y poco controlado (IDEAM, 2012). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que existe un número alarmante de personas a nivel mundial que se encuentran expuestas a dosis por encima de los límites permisibles en ambientes abiertos así como en ambientes laborales cerrados (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006).



El problema de contaminación atmosférica es un tema regional ya que la generación de contaminantes en una cierta zona llega a afectar de manera considerable la salud de los pobladores cercanos al sitio, y al mismo tiempo se convierte en un problema mundial debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Jaya & Gomezcoello, 2010).

Los contaminantes atmosféricos son sustancias que se encuentran presentes en ciertas cantidades en la atmósfera provocando alteraciones en la misma, perturbando el ambiente y produciendo efectos dañinos en los seres vivos. Pueden estar presentes de manera líquida, sólida y gaseosa, provenientes de fuentes naturales (volcanes, descomposición de materia, otros.) o artificiales (actividades antrópicas, industrias, vehículos, otros.), (Jaya & Gomezcoello, 2010).

### 1.2.1 Fuentes de contaminación atmosférica

Una fuente de emisión es una actividad, proceso u operación, que emite contaminantes atmosféricos con la intervención de los seres humanos, (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE], 2015). Se las clasifica en dos tipos:

- *Fuente fija*: como su nombre lo expresa, es fija debido a que la fuente de emisión se encuentra en un lugar determinado e inamovible (Ministerio del ambiente [MAE], 2015).

Existen tres tipos diferentes como son, las *fuentes puntuales* que provienen básicamente de procesos industriales los cuales emanan gases mediante chimeneas, y la de generación de energía eléctrica. La *fuentes de área* se la determina de esta manera ya que abarca una zona con múltiples fuentes fijas o áreas al aire libre en las cuales se genera contaminación atmosférica como por ejemplo las plantas de tratamiento de aguas residuales o los rellenos sanitarios. Por último las *fuentes naturales* que son derivadas de procesos propios de la naturaleza como las erupciones volcánicas.

- *Fuente móvil*: fuente de emisión que debido al proceso que se lleva a cabo se encuentra en movimiento constante emitiendo contaminantes atmosféricos en distintas zonas (Ministerio del ambiente, 2014).

La contaminación atmosférica no es producida solo por los contaminantes que son emitidos por las fuentes directamente, es por eso que se los clasifica de la siguiente manera:

- *Contaminantes primarios*.- sustancias emitidas directamente desde la fuente debido a una actividad humana (O’Ryan & Larraguibel, 2000), se les señala



como las principales responsables de la contaminación atmosférica. Los contaminantes primarios son los gases que se producen en la combustión (compuestos derivados del azufre y nitrógeno, óxidos de carbono y compuestos halogenados) y las partículas emitidas por los procesos de producción y el polvo levantado por la circulación vehicular (Ballester, 2005).

- *Contaminantes secundarios.* - son producto de reacciones químicas dadas en la atmósfera por la interacción de contaminantes primarios, secundarios o estos con el vapor de agua y la radiación solar que son componentes naturales de la atmósfera (Ballester, 2005), los distintos procesos de transformación pueden durar horas o días (O’Ryan & Larraguibel, 2000); siendo los principales contaminantes secundarios el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y el ozono troposférico (O<sub>3</sub>).
- *Contaminantes Naturales.* - provenientes de procesos propios de la naturaleza en los que se producen gases y partículas como es el caso de las erupciones volcánicas, incendios forestales y la descomposición de materia orgánica (Albert, 2004).

### 1.2.2 Tipos de contaminantes

Los contaminantes provenientes de actividades humanas y fuentes naturales son varios por lo que se han establecido límites de concentración en el aire de ciertos compuestos que se los denomina como “contaminantes criterio” (O’Ryan & Larraguibel, 2000). Según la norma de calidad del aire ambiente del Ecuador libro VI anexo 4 (MAE, 2015), considera como contaminantes criterio o contaminantes comunes existentes en el aire a:

- *Material particulado.* - Son partículas sólidas o líquidas provenientes de distintos procesos naturales o industriales, que se encuentran suspendidas en la atmósfera debido a su tamaño y densidad. Al ser una mezcla de distintos componentes orgánicos e inorgánicos poseen distintas propiedades físicas y químicas (Arciniégas, 2012) y se lo clasifica como:
  - *Partículas sedimentables:* se trata del material particulado que puede encontrarse en suspensión por cierto tiempo en el aire y su tamaño es superior a 10 micras (Ministerio del Ambiente [MAE], 2007). La normativa estipula que la concentración máxima de material sedimentable recolectado por 30 días, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup> x 30 d) (MAE, 2015).
  - *Material particulado PM<sub>2,5</sub>.* - son partículas suspendidas en el aire que tienen un diámetro menor a 2,5 micras. Según la norma no debe exceder de quince microgramos por metro cubico (15 µg/ m<sup>3</sup>) en las muestras recolectadas en un





año, mientras que en 24 horas el límite de las muestras recolectadas no excederá más de 2 veces al año el valor de sesenta y cinco microgramos por metro cubico ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015).

- *Material particulado PM10*.- son partículas que se encuentran suspendidas en el aire con un diámetro inferior a 10 micras. La normativa da a conocer que el promedio de las muestras recolectadas por un año no excederá los cincuenta microgramos por metro cubico ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que las muestras recolectadas durante 24 horas no excederá los ciento cincuenta microgramos por metro cubico ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015).
- *Monóxido de carbono (CO)*: es un gas que producido por la combustión incompleta, es incoloro e inodoro. Considerado como uno de los principales contaminantes de la atmósfera, es producido por vehículos que utilizan gasolina o diésel como combustible y también por las industrias que en sus procesos utilizan compuestos derivados del carbón (Téllez, Rodríguez & Fajardo, 2006). En el Ecuador la norma indica que el límite de concentración de muestras continuas durante 8 horas no sobrepase los diez mil microgramos por metro cúbico ( $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por más de una vez en un año, mientras que en un periodo de 24 horas la concentración máxima no deberá exceder de treinta mil microgramos por metro cúbico ( $30\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015).
- *Dióxido de azufre*: se produce en algunos procesos industriales en donde se oxida el azufre y también en la combustión de fuel oíl y carbón, es un gas muy soluble en agua, incoloro, de olor picante e irritante (Instituto Nacional de Seguridad de Higiene del Trabajo [INSHT], 2014). El límite de concentración en las muestras de un año no excederá de sesenta microgramos por metro cúbico ( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en 24 horas el límite máximo es ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y la concentración del contaminante en 10 minutos no debe sobrepasar los quinientos microgramos por metro cubico ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015).
- *Óxidos de nitrógeno (Óxido Nítrico (NO) y (Dióxido de Nitrógeno) (NO<sub>2</sub>))*: El NO se produce en la combustión al reaccionar el N<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub> del aire, es un gas incoloro. El NO<sub>2</sub> es un producto de la oxidación que sufre el NO al estar en contacto con el oxígeno, es un gas irritante y tóxico en altas concentraciones. Los óxidos de nitrógeno son formadores de ozono troposférico debido a que reaccionan con los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y la radiación solar. Son producidos principalmente por la combustión de vehículos y procesos industriales (Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte [EMOV], 2016). La norma da a conocer que los límites de NO<sub>x</sub> que son expresados



como  $\text{NO}_2$  no sobrepasaran los cuarenta microgramos por metro cúbico ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en un año, mientras que en 1 hora la concentración deberá ser menor a doscientos microgramos por metro cúbico ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015).

- **Ozono:** es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en mayor cantidad en la estratósfera y en menor cantidad en la tropósfera. El ozono troposférico se produce al reaccionar los  $\text{NO}_x$  y COV's con la radiación solar y es un contaminante de origen antropogénico dañino para la salud. (EMOV, 2016). En la normativa se considera que la máxima concentración en un periodo de 8 horas es de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (MAE, 2015)

### **1.3 Inventario de emisiones atmosféricas.**

En la actualidad al ser la contaminación atmosférica un tema de interés global se opta por medidas locales de control de la calidad del aire. Los inventarios de emisiones son instrumentos utilizados para llevar un control de emisiones recopilando los datos de actividades industriales y emisiones que se llevan a cabo en un sitio y puedan estar provocando un deterioro de la calidad del aire permitiendo proceder a la toma de decisiones sobre la situación actual (Jaramillo, Núñez, Ocampo, Pérez, & Portilla, 2004).

Para dimensionar el alcance de un inventario es necesario cuestionarse en cuatro dimensiones: que contaminantes se están emitiendo, cuáles son las actividades que los están emitiendo, la frecuencia de la actividad y en donde se encuentra (Noceda, 2013). Para la creación de un inventario en una zona específica se utilizan principalmente los contaminantes criterio: material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos nitrogenados y metales pesados (Aguirre & Machado, 2015).

La necesidad de conocer las metodologías a usar en la creación de un inventario es primordial para determinar los procedimientos de cálculo de las emisiones, así como la información que se recopilará debe ser precisa y característica según el tipo de fuente y contaminante, lo que permite obtener resultados con una mayor precisión, (Noceda, 2013).

Los datos a recopilarse no deben ser sólo los de las emisiones ya que se suele incluir algunos sobre medio ambiente, otros de actividad, sociales e incluso económicos (Noceda, 2013). Para la obtención de datos de las emisiones se utiliza métodos de estimación de emisiones, mediante mediciones directas en la fuente en tiempos



determinados o balance de masa relacionando la información de las entradas y salidas de cada proceso. Para la utilización de estos métodos es necesario contar con equipos especializados e información detallada, lo cual implica tener un control específico durante todo el tiempo de medición, por lo que existe un aumento en los costos de la implementación del inventario (Cruzado & Valdez, 2013).

Realizar una revisión bibliográfica sobre la creación de inventarios en distintas localidades dentro y fuera del país permitió determinar la metodología a utilizarse, los estudios analizados se detallan a continuación.

En el inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón Cuenca, realizado con el objetivo de estimar y cuantificar las emisiones de 30 empresas para la obtención de información que permita determinar el impacto generado en la calidad del aire del cantón; se utilizaron dos metodologías la de muestreo en la fuente con mediciones puntuales durante una hora en función al caudal y las concentraciones de las emisiones, y la de estimación de contaminantes utilizando los factores de emisión del compendio AP-42 de la EPA según tipo de combustible utilizado en la empresa, se analizó las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno y azufre (NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>). El análisis de las fuentes indica que la mayor generación de SO<sub>2</sub> se produce en la producción de papel y cartón debido al tipo de combustible que se emplea, la empresa de mayor generación de NO<sub>x</sub> es la de fabricación de cerámicos, tubos y productos galvanizados debido a las altas temperaturas de sus hornos, mientras que las empresas de fabricación de muebles y carpintería que utilizan como combustible leña son las que mayor cantidad de CO emanan a la atmósfera. Las empresas que utilizan como combustible biomasa son las que menor cantidad de SO<sub>2</sub> emanan a la atmósfera, en cambio la empresa de repuestos de motores para autos es la que menor cantidad de NO<sub>x</sub> y CO genera. Es importante recalcar que la cantidad de emisiones generadas dependen del tamaño y actividad que se realice en la empresa (Moscoso, Astudillo, & Morales, 2018).

En la zona urbana de Manizales, Colombia se realizó el Inventario por fuentes fijas puntuales; el estudio consta de dos etapas: la recopilación de información proveniente de muestreos anteriores y del Registro Único Ambiental (RUA), y la segunda de la estimación de emisiones según los reportes de muestreos y mediante factores de emisión en base a la información de actividad. Se cuantificaron 39 empresas que generan emisiones de las cuales 28 cuentan con datos de muestreo anteriores y 11 con datos de expedientes de la RUA. Los resultados demuestran que en el municipio



de Manizales la mayor cantidad de generación de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , MP, se encuentra ligado a las industrias de alimentos y bebidas, empresas analizadas en mayor porcentaje. Mientras que las industrias relacionadas a la fundición tienen un mayor aporte de emisiones de CO, VOC, metales y  $\text{NO}_2$ . Concluyen que la generación de emisiones depende de manera directa del combustible, actividad y proceso de producción de cada empresa (Corporación Autónoma Regional de Caldas [CORPOCALDAS], 2016)

En el año 2006 en la comuna 4 de la ciudad de Cali, Colombia, se realizó el Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales, para la obtención de información se empleó formularios sobre la actividad de cada una de la 260 empresas. La metodología usada fue la del "Manual de Procedimientos Operativo Estandarizado (POE) mediante dos etapas la primera fue un diseño logístico y la segunda una recopilación y clasificación de información de las empresas. Se realizó la estimación de emisiones de PST,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO y COV mediante el método de factores de emisión basado en procesos según la cantidad y tipo de combustible, y muestreos isocinéticos en el caso de las industrias que contaban con chimeneas aptas. La zona se caracteriza por tener industrias de producción pequeña, en las cuales existen 173 equipos de combustión que en la mayoría funcionan con combustibles gaseosos limpios, pero existen calderas y hornos que funcionan con carbón que son las causantes de emanar la mayor cantidad de PST y  $\text{SO}_x$ . Se concluye que en la zona la industria de textiles es la mayor generadora de emisiones de material particulado debido al combustible (carbón) utilizado en sus procesos productivos, mientras que el consumo de combustibles gaseosos considerados limpios es el mayor debido a que existen industrias pequeñas (Aponte, Silva, & Laín, 2010).

En la ciudad de Cochabamba, Bolivia, se realizó el inventario de emisiones atmosféricas contaminantes con año base 2008, para desarrollar un plan de acción ante la problemática de salud presentada. Se analizó las emisiones provenientes de fuentes fijas, área y móviles con su respectiva metodología. La estimación de emisiones de las fuentes fijas y de área se realizó mediante factores de emisión y clasificándolas mediante la actividad económica, la recopilación de la información se obtuvo mediante encuestas. Se logró contabilizar 50 industrias entre fijas y de área en las cuales las del rubro alimentos y textiles son las que generan mayor cantidad de contaminantes como son el MP,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , y  $\text{NH}_3$ . Mientras que para las fuentes de área las industrias que más generan emisiones son las ladrilleras debido a que en sus procesos productivos se usa como combustible biomasa. La falta y calidad de datos detallados por las industrias no permite realizar una estimación eficaz. El estudio determina que las fuentes móviles debido al alto número de vehículos que circulan son



la principal fuente de contaminación seguido por las fuentes de área y por último la fuentes fijas (Pareja, Hinojosa, & Luján, 2012).

En 1996 en México se elaboró el Manual del programa de Inventarios de Emisiones en el cual se dan a conocer las distintas técnicas básicas de estimación de emisiones, en donde se toma como un método óptimo de estimación de emisiones para fuentes puntuales a los factores de emisiones basados en procesos debido a los costos bajos que implican y al hecho de que se los puede combinar con los datos de mediciones en la fuente (Gaitán & Cárdenas, 2016).

En la ciudad de Portovelo, se llevó a cabo el estudio de determinación y caracterización de material particulado sedimentable en donde se utilizó la metodología estipulada en el TULSMA para establecer una línea base sobre la contaminación del aire por la presencia de material particulado sedimentable. Se realizó en 12 puntos de muestreo en el centro urbano. Los resultados del estudio encontraron interferencias debido a que en algunos sectores se encontraban realizando trabajos viales y en otros la calzada vial era de tierra o lastre, mientras que en los que no existieron interferencias se considera que los resultados son reales. Se determinó que en la mayoría de los puntos superan el valor estipulado por la normativa ecuatoriana. El punto de mayor concentración de material particulado se debe a las actividades propias del sector en donde se encuentran las moliendas y una gran cantidad de volquetas que descargan material (Bravo, 2017).

Para la medición de material sedimentable se toma en cuenta la metodología presentada en Libro VI Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), que nos dice que el monitoreo pasivo de partículas sedimentables consta de un muestreador de 15 centímetros de diámetro o mayor, y de una altura de 2 o 3 veces mayor a su diámetro. Deberá ser ubicado a una altura de 1,2 metros o mayor del suelo, en el cual se captarán partículas solubles e insolubles. Para la cantidad de partículas insolubles se hará uso de un papel filtro que retenga dichas partículas al momento de filtrar el líquido del envase, la diferencia del peso del papel filtro sin partículas y el papel filtro seco luego de filtrar el líquido será el resultado. En cambio, las partículas solubles se determinan mediante la diferencia de peso ganado por la evaporación del líquido del muestreador trasvasado en un crisol. El total de partículas sedimentables es igual a la suma de partículas solubles e insolubles con respecto al área del envase (MAE, 2015).



#### **1.4 Representación gráfica.**

En el desarrollo de un inventario de emisiones es importante no solo dar a conocer la cantidad de emisiones, sino que también es necesario conocer las fuentes y su ubicación para establecer el comportamiento según su zona (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], 2009). Por lo que para determinar el comportamiento de las distintas variables en la zona de estudio se realiza mediante métodos de interpolación que permiten modelar las variables propuestas en el estudio. Los métodos de interpolación son utilizados como herramientas para obtener una mejor comprensión de los datos generados en un estudio. Existen diferentes metodologías de interpolación de datos espaciales utilizados para la estimación de contaminantes tanto en escala global o local (Cañada, Moreno, & González, 2014).

Los métodos más utilizados son el inverso de la distancia (IDW) que es un método sencillo y determinista, utilizado a nivel local; y otro, el de Kriging que se trata de un modelo geoestadístico y analítico basado en la minimización de su error cuadrático (Rodríguez, 2014).

En la comparación de los dos métodos existen algunos factores que afectan a la interpolación como son: el tipo de superficie, la distribución espacial de la muestra en estudio, la varianza de los datos, entre otros. Por lo que Cañada, Moreno, & González, 2014 y Wong, Yuan, & Perlin, 2004; en sus estudios logran resolver que el mejor método de interpolación espacial para el modelado de calidad de aire es el de la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW).

## CAPÍTULO 2. METOLOGÍA

### 2.1 Delimitación del área de estudio.

Chordeleg es un cantón de la provincia del Azuay, ubicado a 42 Km de la ciudad de Cuenca, a las orillas del río Santa Bárbara a una altitud de 2390 ms.n.m y un área de 104,9 Km<sup>2</sup>, su temperatura promedio es de 16 °C. Según el último censo del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), el cantón cuenta con una población de 12 557 habitantes dispersos en un 33,47 % en la cabecera cantonal y el restante en zonas rurales.

A continuación en la figura 1 se representa el Mapa del centro urbano del cantón Chordeleg:

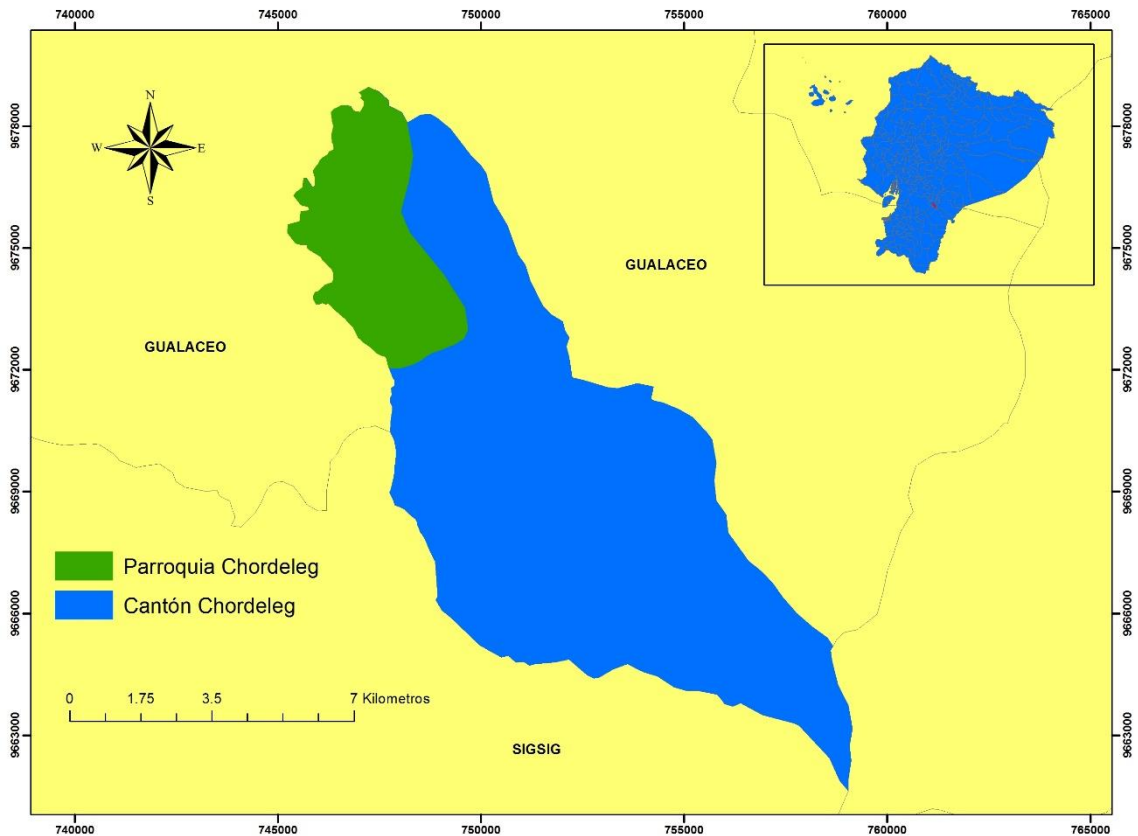


Figura 1. Centro urbano del cantón Chordeleg

Fuente: Autor

### 2.2 Recopilación de la información.



La información base para el análisis de la situación ambiental se obtuvo del inventario de las actividades económicas contaminantes realizado por el GAD Municipal del cantón Chordeleg mediante el departamento de Gestión Ambiental en el año 2017 en donde se encuentran datos sobre la contaminación existente generada por las distintas actividades que se vienen desarrollando.

En el inventario existente se encuentra detallado las actividades económicas contaminantes del cantón de una manera cualitativa, en la cual se identifican los puntos críticos, regulares y óptimos según las distintas variables desarrolladas por parte de los consultores, por lo que para el presente estudio se utiliza esta base de datos para la obtención de información que permita cumplir con la etapa de investigación y determinación de los puntos de muestreo.

## **2.3 Definición de características del Inventario**

### **2.3.1 Muestra**

La obtención de los puntos de muestreo del presente estudio está basada en los puntos críticos determinados en el inventario de actividades contaminantes del cantón Chordeleg específicamente en el componente aire que asocia la calidad de aire con los factores de gases de combustión y material particulado.

Según la base de datos existen 213 actividades que tienen generación de gases de combustión en sus procesos productivos de los cuales se considerará para el estudio las 19 actividades críticas que están relacionadas a la fabricación de alfarería artesanal mediante el uso de hornos de cocción. En el caso de la generación de material particulado se han determinado 341 actividades según el inventario, de las cuales 39 son críticas por lo que se considerarán para el presente estudio, dentro de este grupo se encuentran las fábricas artesanales de bloques para construcción, alfarería artesanal, carpinterías y la construcción de casas prefabricadas.

### **2.3.2 Variables**

Las variables a considerar para el presente estudio son la carga contaminante emanada hacia la atmosfera por parte de las distintas fuentes fijas consideradas críticas, que se encuentran clasificadas según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) en el Inventario de actividades contaminantes de Chordeleg, y los contaminantes criterio que según la norma de calidad del aire ambiente del Ecuador libro VI anexo 4 (MAE, 2015) son material particulado, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO – NO<sub>2</sub>).



Posteriormente se tomó en cuenta la metodología planteada en el Volumen II: Fundamentos de Inventarios de Emisiones de los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado, 1997) que se expresa en la figura 2:



*Figura 2.* Pasos técnicos para desarrollar un inventario de emisiones

Fuente: (Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado, 1997)

Elaboración: Autor

## 2.4 Encuesta

La formulación de la encuesta a más de corroborar la información de la línea base de los puntos críticos está guiada a la obtención de datos de operación y ciertos factores que se encuentran afectando la generación de emisiones hacia la atmosfera.

Se obtuvo como base para la creación de la encuesta la ficha de información creada por el GAD Municipal de Chordeleg en el levantamiento de información de las actividades contaminantes. Para obtener la información de una manera sencilla y eficaz se formuló la encuesta en 4 secciones:



- a. Codificación.
- b. Datos generales del establecimiento
- c. Datos de la actividad comercial
- d. Situación ambiental: contaminación atmosférica

En la sección de la situación ambiental se tomó en cuenta que se debe contemplar según Mejía & Páramo, 2011, la siguiente información:

- Uso de suelo del sector en el que se encuentra el establecimiento.
- Tiempo de funcionamiento de la actividad (horas y días de funcionamiento).
- Tipo y cantidad de combustible en volumen o masa.
- Características químicas del combustible.
- Características de los equipos (diseño, frecuencia del mantenimiento, capacidad, tiempo que se lleva usando, eficiencia, etc.).
- Equipo de control.

## **2.5 Selección del método de estimación**

Para la obtención de un método de estimación apropiado se realizó una revisión bibliográfica que permitió escoger el método de estimación de emisiones basado en procesos debido a que es utilizado con frecuencia en la estimación de fuentes fijas. En los estudios analizados se han obtenido resultados favorables debido a que su aplicación es sencilla porque relaciona ciertas variables como son la cantidad del contaminante que es emitido hacia la atmósfera y los datos de actividad que son recolectados mediante el uso de encuestas (Serrano et al., 2009).

### **2.5.1 Puntos de muestreo.**

Para el análisis de emisión de gases de combustión se tomó en cuenta 20 puntos de muestreo relacionados al rubro de fabricación de alfarería y piezas de cerámica (MP\_A\_#) del inventario de actividades que se detallan en el anexo 1.

### **2.5.2 Descripción de actividades productivas relacionadas a la emisión de gases de combustión.**

En la figura 3 se observa el diagrama de procesos de la actividad de fabricación de alfarería y piezas de cerámica, que se relaciona con la emisión de gases de combustión.

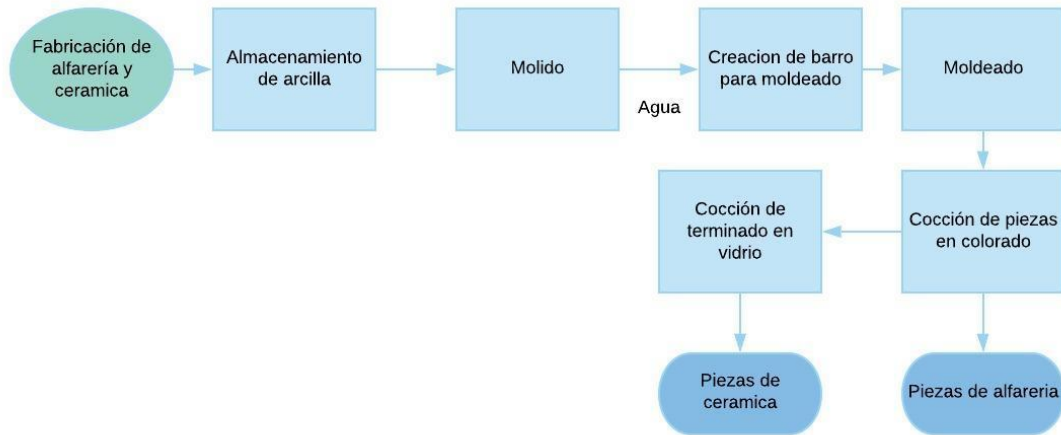


Figura 3. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica.

Los gases de combustión que se producen en la actividad se dan en la etapa de cocción de piezas en colorado y en la cocción de terminado en vidrio debido a que se utiliza combustible para el proceso productivo.

### 2.5.2 Estimación de emisiones mediante el uso de factores de emisión

En la estimación de emisiones se emplearon los datos de factores de emisión de los combustibles utilizados en cada actividad, cuyos datos provienen del compendio AP-42 de la EPA que se detalla en la tabla 1:

Tabla 1. Factores de emisión por contaminante emitido por la combustión de leña.

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg Leña)
Leña	CO	0,00680
	NO <sub>x</sub>	0,00075
	VOC	0,00011
	SO <sub>x</sub>	0,00004
	NH <sub>3</sub>	1,1 E -03

Fuente: Guía CONAMA

Elaboración: Autor

Para la estimación de las emisiones se aplicó la ecuación 1

$$E(n) = FE * DA \left[ 1 - \frac{ER}{100} \right] \quad (1)$$

Fuente: (Jaramillo et al., 2004)

Donde:



E: Emisión

n: código de punto de monitoreo

FE: valor del factor de emisión según el tipo de combustible

DA: nivel de actividad del equipo mensual.

ER: Eficiencia de reducción de emisiones de un equipo de control expresada en porcentaje.

ER se emplea cuando exista un método de control de la eficiencia del mecanismo de remoción, en caso de no existir un mecanismo de control considerar el valor de cero (Jaramillo et al., 2004).

Con los resultados obtenidos del cálculo se procede a realizar la tabulación según el código del punto de muestreo, tiempo de actividad, tipo de combustible, tipo y cantidad de gases emanados.

## **2.6 Medición de material sedimentable.**

### **2.6.1 Puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo fueron seleccionados en base a las actividades críticas consideradas en el inventario existente en el GAD Municipal de Chordeleg, los cuales corresponden a los rubros de casas prefabricadas (MP\_CP\_#), fabricación de alfarería y piezas de cerámica (MP\_A\_#), bloquera (MP\_B\_#), y carpintería (MP\_C\_#); que se detallan en el anexo 2.

### **2.6.2 Descripción de actividades productivas relacionadas a la generación de material particulado sedimentable.**

Los diagramas de procesos presentados posteriormente describen de manera resumida cada una de las actividades que son realizadas en los distintos rubros considerados críticos en la generación de material particulado sedimentable.

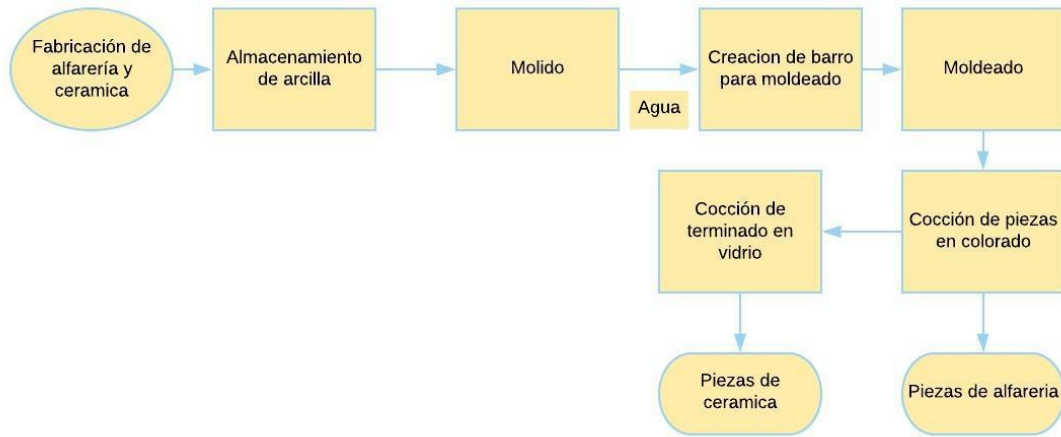


Figura 4. Diagrama del proceso de fabricación de alfarería y cerámica.

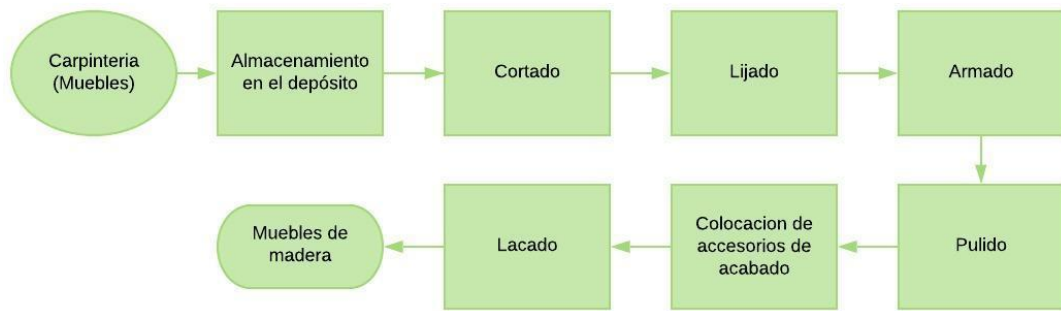


Figura 5. Diagrama del proceso de Carpintería.



Figura 6. Diagrama del proceso de construcción de casas prefabricadas.

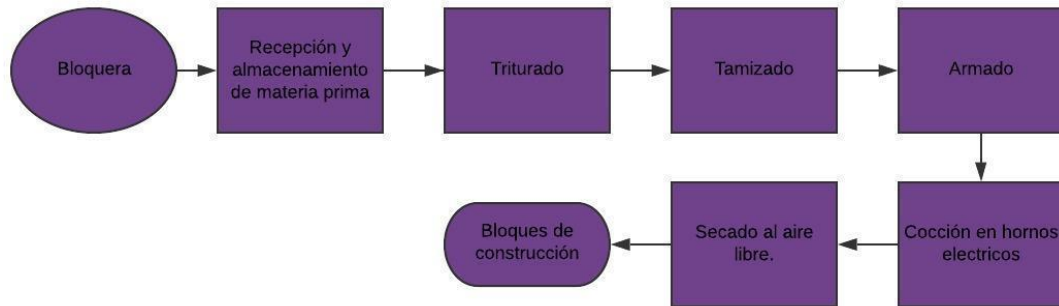


Figura 7. Diagrama del proceso utilizado en una bloquera.

En la fabricación de alfarería y cerámica (figura 4) existe generación de material particulado que se atribuye al proceso de molido debido al uso de trituradoras que esparcen partículas de arcilla hacia el exterior; y a la cocción por el hecho de emanar cenizas hacia el exterior de los hornos que funcionan a base de leña como combustible.

Los diagramas de procesos de carpintería (figura 5) y la construcción de casas prefabricadas (figura 6) son generadores de material particulado debido a que son trabajos semejantes que utilizan la misma materia prima y maquinaria en ciertas actividades como son las de cortado, pulido y lijado, que por su funcionamiento emanan partículas a la atmosfera.

El proceso productivo llevado a cabo en una bloquera (figura 7) implica el uso de trituradoras industriales que generan partículas que son liberadas hacia la atmosfera en el triturado, por otra parte el proceso de tamizado genera el desprendimiento de partículas pequeñas hacia la atmosfera.

### **2.6.2 Implementación de muestreadores y análisis de material particulado sedimentable**

El número de muestreadores a colocar (1 ó 2) depende de distintas características como son el área que ocupa cada actividad y la cercanía que se encuentra de la vía de acceso, al igual que para la colocación de los muestreadores se tomó en cuenta el sitio más representativo que cumpla con las siguientes características:

- El sitio debe encontrarse libre de obstáculos como vegetación o barreras físicas que interrumpan la corriente libre de aire.
- Debe contar con fácil acceso para realizar inspecciones y mantenimiento.
- Brindar seguridad contra el vandalismo que pueda interferir en el estudio.



Los muestreadores utilizados para la captación del material particulado fueron de 18,5 cm de diámetro y 25,0 cm de altura, se colocaron a una altura entre 2,5 y 3,5 metros dependiendo de las características del sitio. Se realizó el muestreo por un periodo de 30 días como lo establece el Libro VI Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (MAE, 2015). Se llevó a cabo un control del estado físico de los muestreadores cada 8 días en cada uno de los puntos de muestreo.

Al culminar el periodo de 30 días se procedió a retirar y tapar los muestreadores los mismos que fueron guardados en fundas negras para evitar que el contacto con la luz altere las muestras. Se conservaron a temperatura ambiente estable y posteriormente fueron llevados al laboratorio para realizar el respectivo análisis.

El análisis de laboratorio consistió en los siguientes pasos:

- Mediante la utilización de una balanza analítica de precisión se obtuvo los datos de peso de la capsula vacía (CIn) y el papel filtro vacío (PIn) donde n es el código del sitio de muestreo.
- Para los muestreadores que no contenían agua se lavó sus paredes y la base con 250 ml de agua destilada y se procedió a retirar con una pinza residuos de gran tamaño como hojas, insectos, etc.
- Se realizó la filtración del agua homogenizada con el material sedimentado mediante la utilización de un papel filtro insertado en un embudo hacia un vaso de precipitados.
- Una vez concluida la filtración se procedió a retirar el papel filtro y llevarlo a la estufa programada a una temperatura de 80 °C durante 2 horas para el proceso de secado.
- El papel filtro seco y a temperatura ambiente se lo pesó en la balanza analítica obteniendo así el peso del papel filtro más el peso de las partículas sólidas insolubles retenidas denominado (PFn).
- El líquido resultante del filtrado es aforado a 100 ml del cual se toma una alícuota de 50 ml que es colocado en la cápsula vacía para ser llevada a la estufa programada a una temperatura de 80 °C hasta evaporación total.
- Se procedió a pesar la cápsula seca dando como resultado el peso de la cápsula más el peso del material sólido soluble denominado (CFn).
- El peso de sólidos totales se obtuvo por la ecuación 2:



$$PSTn = \frac{PSSn+PSIn}{\pi r^2} \quad (2)$$

Fuente: (MAE, 2015)

Dónde:

PST = Partículas sedimentables totales

n = código del punto de muestreo.

PSSn = Partículas sedimentables solubles

$$PSSn = CFn - CIn \quad (3)$$

PSI = Partículas sedimentables insolubles

$$PSIn = PFn - PIn \quad (4)$$

$\pi r^2$  = área del recipiente colector.

- Para realizar la comparación con la normativa vigente se realizó la corrección mediante la ecuación 5 planteada en la normativa:

$$CC = \frac{Co*760 \text{ mmHg}}{PBL \text{ mmHg}} * \frac{(273+T^{\circ}C)^{\circ}K}{298^{\circ}K} \quad (5)$$

Fuente: (MAE, 2015)

Dónde:

CC = Concentración corregida ( $\frac{mg}{cm^2 * 30días}$ )

Co = Concentración observada = PSTn

PBL = Presión atmosférica local (mmHg)

T° C= Temperatura local en °C

- Los resultados obtenidos del análisis fueron tabulados junto con todos los datos anteriores según el código de punto de muestreo.

## 2.7 Representación gráfica de contaminantes emanados.





Mediante el uso de un GPS Garmin 64st, se obtuvo las coordenadas para geolocalizar los puntos de muestreo, que fueron almacenados en una tabla de datos de Excel para posteriormente mediante el uso del software ARCGIS 10.5 realizar la representación cartográfica de los puntos clasificados en diferentes categorías según el tipo de contaminante y sus concentraciones en un mapa del área que representa el centro urbano de Chordeleg.

Cada una de las variables fue analizada con los métodos de interpolación IDW y Kriging ordinario del software ARCGIS 10.5, para posteriormente realizar una diferencia entre los valores reales mínimos y máximos de la carga contaminante que fueron medidos o estimados en el estudio con los valores generados en las distintas interpolaciones. El valor de la diferencia es el error que se genera al usar dichos métodos de interpolación. Lo que permite utilizar el método con menor cantidad de error en la representación gráfica de los resultados.

**CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.****3.1 Selección del método de interpolación.**

La comparación de los dos métodos de interpolación IDW y Kriging con cada una de las variables son representados a continuación en las tablas 2 y 3:

*Tabla 2.* Determinación del error entre los métodos de interpolación para material particulado sedimentable.

Interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW)			
	Mediciones en los puntos de muestreo (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)	Valores de la interpolación (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)	Error (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)
Mínimo	0.0711	0.077	0.0059
Máximo	11.9415	11.6834	0.2581
Interpolación Kriging (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)			
	Mediciones en los puntos de muestreo (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)	Valores de la interpolación (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)	Error (mg/cm <sup>2</sup> *30 días)
Mínimo	0.0711	0.7178	0.6467
Máximo	11.9415	8.3866	3.5549

*Tabla 3.* Determinación del error entre los métodos de interpolación para gases de combustión.

Interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW)				
		Estimaciones en los puntos de muestreo (Kg de compuesto /mes)	Valores de la interpolación (Kg de compuesto /mes)	Error (Kg de compuesto /mes)
CO	Mínimo	0.976	0.9928	0.0168
	Máximo	31.235	31.1825	0.0525
NO <sub>x</sub>	Mínimo	0.107	0.1095	0.0025
	Máximo	3.445	3.4392	0.0058
SO <sub>x</sub>	Mínimo	0.0057	0.0058	0.0001
	Máximo	0.1837	0.1834	0.0003
Interpolación Kriging (				
		Estimaciones en los puntos de muestreo (Kg de compuesto /mes)	Valores de la interpolación (Kg de compuesto /mes)	Error (Kg de compuesto /mes)
CO	Mínimo	0.976	1.1847	0.2087
	Máximo	31.235	30.6632	0.5718
NO <sub>x</sub>	Mínimo	0.107	0.1306	0.0236
	Máximo	3.445	3.3819	0.0631
SO <sub>x</sub>	Mínimo	0.0057	0.0069	0.0012
	Máximo	0.1837	0.0183	0.1654

Fuente: autor.



Según el análisis de la diferencia que se genera entre los datos resultantes de las interpolaciones de cada uno de los métodos con los datos reales del muestreo, es posible concluir que el método de interpolación IDW se utilizará en el presente estudio, debido a que el error que existe con este método es menor al que existe con el método de interpolación Kriging. Lo que permite corroborar lo expuesto por Cañada et al., 2014 y Wong et al., 2004, que mencionan que el método de interpolación de la distancia inversa ponderada IDW es el más conveniente para realizar el modelado de la calidad del aire.

### **3.2 Material particulado sedimentable**

El estudio contempló 40 puntos de muestreo (figura 8), de las cuales 11 actividades ya no se encuentran en funcionamiento entre ellas 6 alfarerías y 5 carpinterías.

De acuerdo con el estudio realizado por Bravo, 2017 en Portovelo, se afirma que existen interferencias en los resultados reales de captación de material particulado, esto se debe a que existe la influencia de actividades cercanas distintas a la analizada, el tránsito y el estado vial de acceso de donde se encuentra ubicado el punto de muestreo.

En el caso de los puntos de muestreo MP\_A\_1, MP\_A\_6, MP\_A\_11, MP\_C\_2, MP\_C\_6, MP\_C\_7, MP\_C\_9, MP\_B\_2, al contar con un área relativamente pequeña en la que se lleva a cabo la actividad y no tener un acceso directo a vehículos ni tránsito vehicular que pueda alterar la muestra se colocó un solo muestreador de captación.

Mientras que en los puntos MP\_A\_2, MP\_A\_3, MP\_A\_10, MP\_A\_12, MP\_A\_13, MP\_A\_15, MP\_C\_1, MP\_C\_14, MP\_C\_15, se colocaron 2 muestreadores debido al área que ocupa la actividad en los distintos procesos que se llevan a cabo aunque se encuentren a una distancia considerable de la vía de acceso vehicular.

Los puntos restantes que son MP\_A\_4, MP\_A\_7, MP\_A\_8, MP\_A\_9, MP\_A\_16, MP\_C\_8, MP\_C\_8, MP\_C\_10, MP\_C\_11, MP\_C\_12, MP\_C\_16, MP\_CP\_1, cuentan con 2 muestreadores debido a que se encuentran al margen de la vía y que el tránsito vehicular es elevado en estas zonas.

A continuación, la tabla 4 presenta un resumen de las concentraciones de material sedimentable registrados en los puntos de muestreo

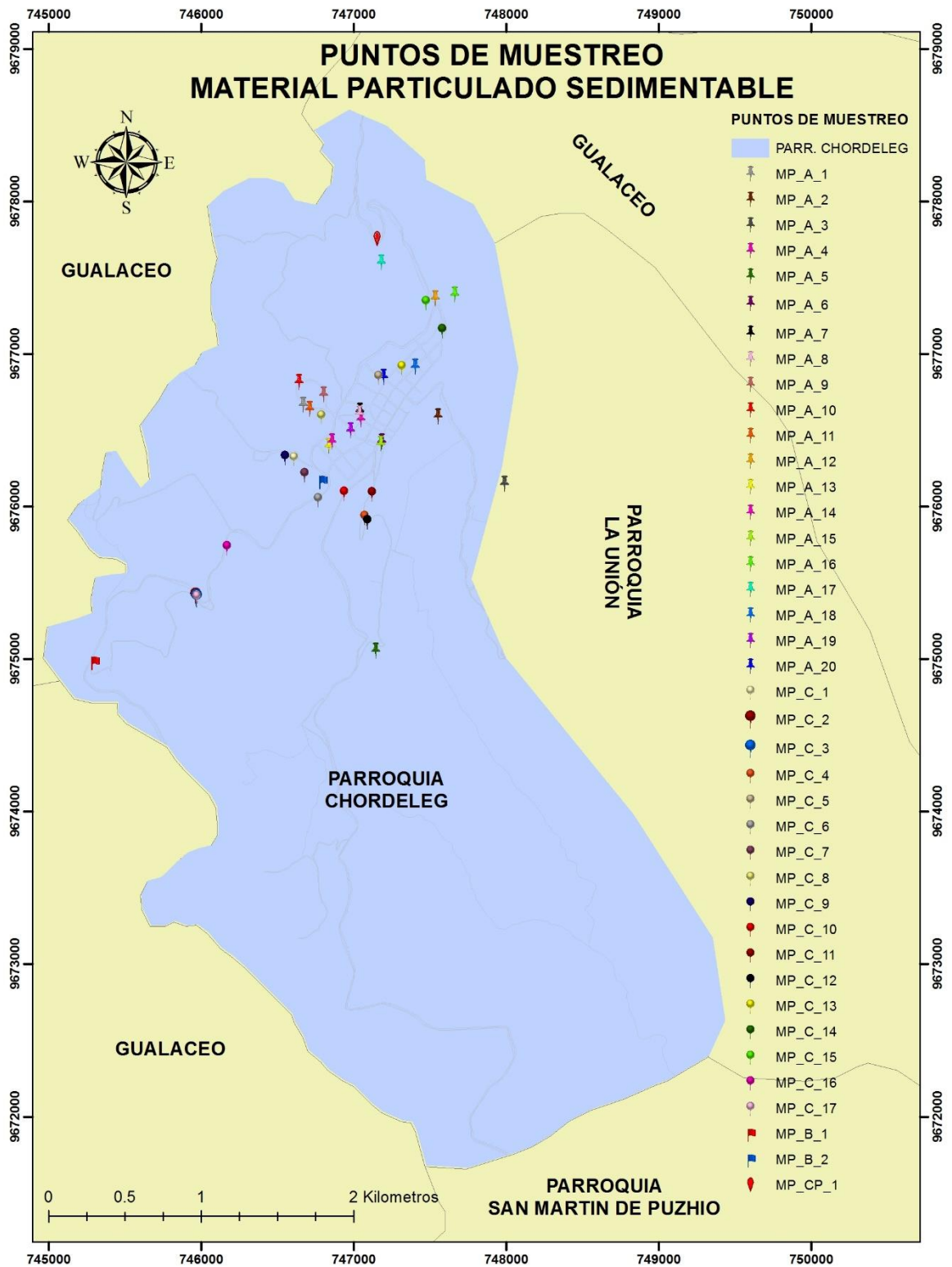


Figura 8. Puntos de muestreo de material particulado sedimentable

Fuente: Autor



Tabla 4. Concentración de material particulado sedimentable por punto de muestreo.

Actividad	Código	Muestra-dores	Altura del muestreador (m)	Distancia de la fuente (m)	Peso papel filtro inicial (PI) (g)	Peso papel filtro final (PF) (g)	Peso capsula inicial (CI) (g)	Peso capsula final (CF) (g)	Partículas sedimentables sin corrección (g/cm <sup>2</sup> )	Partículas sedimentables corregidas (mg/cm <sup>2</sup> )	Partículas sedimentables totales por punto (mg/cm <sup>2</sup> )
	MP_A_1	Interior	2,9	1,4	2,6937	2,7276	51,7662	51,768	0,00013	0,13095	0,13095
	MP_A_2	Exterior	3,9	2	2,753	2,7895	72,5679	72,5767	0,00017	0,16616	0,98525
		Interior	2,1	3	1,3309	1,5453	47,5816	47,5905	0,00084	0,81908	
	MP_A_3	Exterior	3,2	6	1,375	1,3768	48,5488	48,5555	3,231 E-05	0,03117	0,15772
		Interior	3,2	2	1,3964	1,4249	41,076	41,082	0,00013	0,12654	
	MP_A_4	Exterior	3,1	4,2	1,3289	1,3533	48,5523	48,5551	0,00010	0,09977	0,52270
		Interior	3,9	2	1,3871	1,5	55,7852	55,7876	0,00043	0,42293	
	MP_A_6	Interior	2,6	4	1,306	1,323	52,3306	52,3383	9,390 E-05	0,09060	0,09060
	MP_A_7	Exterior	2,6	7	1,3376	2,258	54,3147	54,3234	0,00353	3,40804	3,63143
		Interior	2,5	1	1,3308	1,3877	52,3644	52,3684	0,00023	0,22338	
	MP_A_8	Exterior	3,4	7	1,3582	1,4781	51,771	51,7729	0,00046	0,44677	11,94154
		Interior	2,5	1,9	1,3221	4,4301	55,7989	55,8246	0,01191	11,49476	
	MP_A_9	Exterior	2,9	4	1,3275	1,3733	55,7865	55,7866	0,00017	0,16836	1,16645
		Interior	3	2	2,7041	2,9711	45,3228	45,3279	0,00103	0,99809	
	MP_A_10	Exterior	3,4	8	4,1315	4,1845	75,0836	75,0863	0,00021	0,20431	0,26703
Interior		3,2	1,3	1,3698	1,3786	41,0723	41,0806	6,501 E-05	0,06272		
MP_A_11	Interior	2,5	1,3	1,3606	1,3731	48,5463	48,5532	7,375 E-05	0,07116	0,07116	
MP_A_12	Exterior	2,4	6	1,3395	1,4233	52,445	52,4464	0,00032	0,31252	0,58763	
	Interior	3,6	2	1,3057	1,3793	72,5751	72,5765	0,00028	0,27510		
MP_A_13	Exterior	5	10,3	1,3457	1,3607	45,3334	45,3394	7,984 E-05	0,07703	0,31178	
	Interior	3,2	2	1,3199	1,3713	52,4441	52,4567	0,00024	0,23475		
MP_A_15	Exterior	2,9	5	1,3532	1,4462	41,0792	41,085	0,00037	0,36240	1,04981	
	Interior	2,8	3	1,3384	1,5225	47,5779	47,5812	0,00071	0,68740		
	Exterior	2,7	10	1,4177	1,6251	75,0498	75,0583	0,00082	0,79194		



Actividad	Código	Muestra a-dores	Altura del muestrea- dor (m)	Distan- cia de la fuente (m)	Peso papel filtro inicial (PI) (g)	Peso papel filtro final (PF) (g)	Peso capsula inicial (CI) (g)	Peso capsula final (CF) (g)	Partículas sedimentabl es sin corrección (g/cm <sup>2</sup> )	Partículas sedimenta- bles corregidas (mg/cm <sup>2</sup> )	Partículas sedimenta- bles totales por punto (mg/cm <sup>2</sup> )
Carpinterías	MP_A_16	Interior	2,4	1,5	1,4208	1,4597	54,3128	54,3169	0,00016	0,15772	
	MP_C_1	Exterior	3,2	4	1,3799	1,5629	48,55	48,5556	0,00071	0,69180	1,46357
		Interior	2,8	2	1,3796	1,5881	47,5805	47,5824	0,00079	0,77177	
	MP_C_2	Interior	3,2	2,1	1,3747	1,9518	54,3094	54,3179	0,00222	2,14804	2,14804
	MP_C_6	Interior	2,5	2	1,3577	2,4053	75,0832	75,0991	0,00404	3,90103	3,90103
	MP_C_7	Interior	2,5	3	1,3391	1,3574	48,5522	48,5529	7,223 E-05	0,06969	0,06969
	MP_C_8	Exterior	3,5	5	2,729	2,7621	51,2864	51,2877	0,00013	0,12618	0,96398
		Interior	3,25	3	1,3413	1,5565	47,572	47,5852	0,00086	0,83779	
	MP_C_9	Interior	3,8	2	1,3739	1,5642	55,7863	55,7871	0,00072	0,70097	0,70097
	MP_C_10	Exterior	2,9	3,4	2,6746	2,9365	52,442	52,443	0,00099	0,96434	1,33152
		Interior	3,1	2,8	1,3398	1,4307	54,2897	54,2989	0,00038	0,36717	
	MP_C_11	Exterior	4	6	1,3037	1,5934	52,3458	52,3505	0,00111	1,07989	2,83325
		Interior	5	2	1,3844	1,8585	72,5578	72,5617	0,00181	1,75335	
	MP_C_12	Exterior	3,7	3	1,3984	1,5136	51,2888	51,2974	0,00047	0,45411	1,52886
		Interior	3,5	4	1,375	1,6415	41,0745	41,101	0,00111	1,07475	
	MP_C_14	Exterior	2,6	6	2,6923	2,8161	52,4437	52,4465	0,00048	0,46438	1,64478
Interior		2,6	2	1,3423	1,6588	51,2887	51,294	0,00122	1,18039		
MP_C_15	Exterior	3,1	2	1,2855	1,3326	52,3263	52,329	0,00018	0,18267	0,50986	
	Interior	3,2	2	1,3668	1,4527	54,311	54,3143	0,00033	0,32719		
MP_C_16	Exterior	3,4	3	2,7024	2,8584	45,3274	45,3289	0,00059	0,57772	0,95224	
	Interior	3,1	2	1,3124	1,4108	41,0778	41,0815	0,00038	0,37451		
Bloqueras	MP_B_1	Exterior	3,2	6	1,3094	1,3505	51,7677	51,7707	0,00016	0,16176	1,76546
		Interior	2,8	1	1,343	1,7524	47,5777	47,6055	0,00166	1,60369	
	MP_B_2	Interior	3,6	5,5	1,3638	1,4544	51,2883	51,298	0,00038	0,36791	0,36791



<i>Actividad</i>	<i>Código</i>	<i>Muestra a-dores</i>	<i>Altura del muestrea- dor (m)</i>	<i>Distancia de la fuente (m)</i>	<i>Peso papel filtro inicial (PI) (g)</i>	<i>Peso papel filtro final (PF) (g)</i>	<i>Peso capsula inicial (CI) (g)</i>	<i>Peso capsula final (CF) (g)</i>	<i>Partículas sedimentabl es sin corrección (g/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Partículas sedimenta- bles corregidas (mg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Partículas sedimenta- bles totales por punto (mg/cm<sup>2</sup>)</i>
<i>Otros</i>	<i>MP_CP_ 1</i>	<i>Exterior</i>	<i>3,2</i>	<i>6</i>	<i>1,38</i>	<i>1,4486</i>	<i>45,3273</i>	<i>45,3382</i>	<i>0,00030</i>	<i>0,29161</i>	<i>0,54948</i>
		<i>Interior</i>	<i>3,5</i>	<i>3,1</i>	<i>1,3355</i>	<i>1,4019</i>	<i>51,7685</i>	<i>51,7724</i>	<i>0,00026</i>	<i>0,25786</i>	

El análisis de la cantidad de material particulado sedimentable resultante del estudio se comparó con la normativa vigente nacional del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), que expresa que el límite máximo permisible es  $1 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$  (MAE, 2015), y con el límite que determina la calidad del aire expresada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de  $0,5 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ .

Existen 12 puntos de los 29 muestreados que sobrepasan el límite máximo permisible estipulado en el TULSMA, mientras que son 20 puntos los que sobrepasan el límite de la OMS (figura 9).

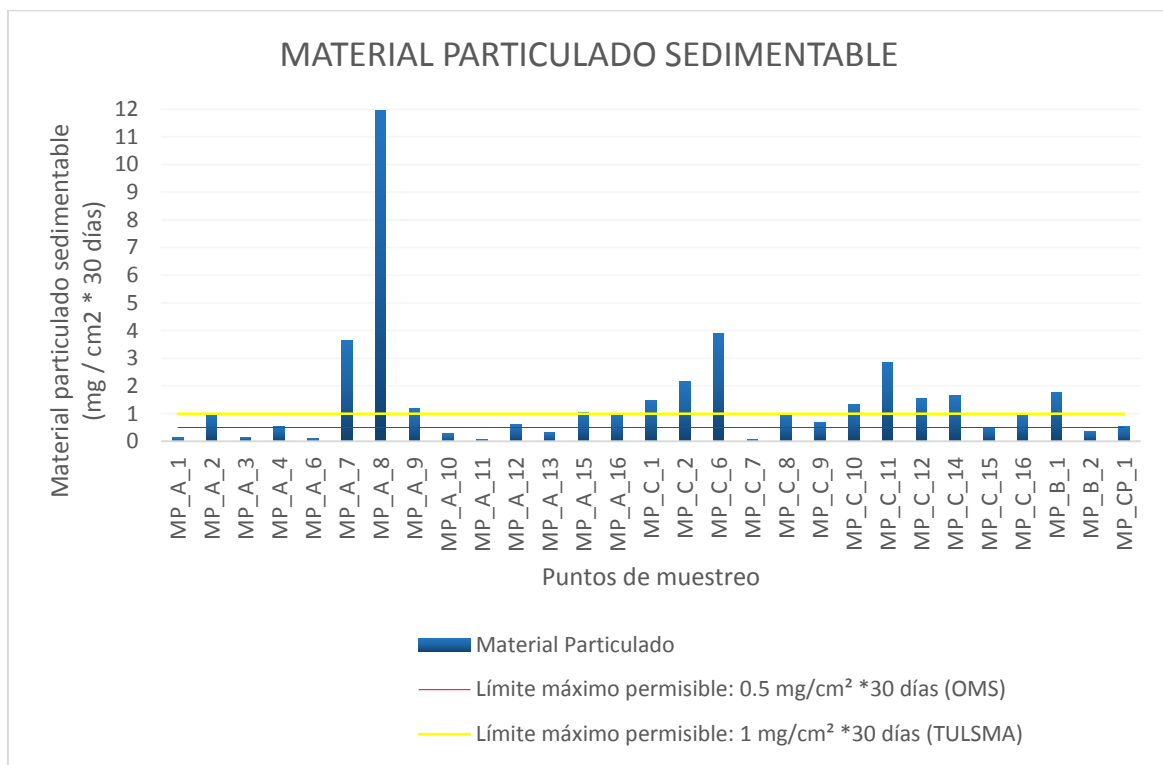


Figura 9. Comparación de material particulado sedimentable con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA

Fuente: Autor





Se determinó que el punto de muestreo MP\_A\_8 es donde se genera la mayor cantidad de material particulado sedimentable ( $11,941 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ), seguido por los puntos MP\_C\_6 ( $3,901 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ), MP\_A\_7 ( $3,631 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ), MP\_C\_11 ( $2,833 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ) y MP\_C\_2 ( $2,148 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ), que son los que registran datos superiores a los límites permisibles expresados en las normativas tanto nacional como mundial.

El punto MP\_A\_8 se encuentra ubicado en el centro urbano del cantón, en el mismo se utilizaron 2 muestreadores debido a que se encuentra al margen de una vía de acceso al terminal terrestre. Los muestreadores fueron colocados uno en la parte interior del taller artesanal de alfarería en una zona ubicada a 1,9 metros de distancia y 2.5 metros de altura de la actividad productiva, y el segundo muestreador en la parte exterior a unos 7 metros de distancia y 3,4 metros de altura con dirección a la vía. La ubicación de un muestreador en la parte exterior permitió determinar las interferencias expuestas por Bravo, 2017 en el estudio realizado en el cantón de Portovelo, al considerar como interferencia el tránsito vehicular, lo cual no resultó relevante ya que la captación externa de material particulado sedimentable fue de  $0,446 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ , mientras que lo registrado en el interior fue de  $11,494 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ . El hecho de que exista una elevada concentración de material particulado en esta actividad puede deberse a la estructura física del taller ya que cuenta con poca ventilación lo que impide que exista una correcta circulación del aire en el interior.

En el punto MP\_C\_6 que corresponde a carpintería artesanal, se colocó un solo muestreador a 2,5 metros de altura y una distancia de 2 metros de la fuente. El análisis del sitio determina que la concentración de material particulado sedimentable ( $3,901 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ ), se debe a que la estructura del taller no cumple con las medidas necesarias para la dispersión de material particulado sedimentable generado por el constante uso de la maquina cortadora de madera, por lo que existe una concentración alta. Mientras que en el punto MP\_C\_2 que corresponde a una carpintería de igual manera que cuenta con un taller al aire libre por lo que la ventilación es adecuada, existe una concentración de  $2,148 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ , debido a que la actividad que se realiza implica el uso de la cortadora de madera por tiempos más prolongados y se encuentra influenciado de manera directa por el tránsito vehicular ya que está ubicado al costado de una carretera de lastre.

Los puntos MP\_A\_7 y MP\_C\_11 presentaron valores altos de concentración de material particulado sedimentable, los valores en los 2 puntos se deben a distintas interferencias provenientes de fuentes externas. En el primer punto mencionado que



se trata de una alfarería el muestreador se colocó al exterior a una distancia de 6 metros del horno de combustión cerca del almacenamiento de arcilla y expuesto de manera directa a la vía de acceso principal de buses hacia el terminal terrestre del cantón por lo que se reporta un valor de  $3,408 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$  que es superior al del muestreador ubicado al interior que se encuentra más cerca de la actividad. Para el segundo punto mencionado existe una elevada concentración de material sedimentable en el exterior debido a que se encuentra expuesto de manera directa a una vía de lastre compactado en mal estado que tiene un alto flujo de circulación vehicular.

Por otro lado los puntos con menor concentración de material particulado sedimentable son el MP\_C\_7 con  $0,0696 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$  debido a que el taller de carpintería cuenta con una ventilación apropiada en un espacio libre de vías y barreras, el punto MP\_A\_11 con un valor de  $0,0711 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$  esto se debe a que la actividad realizada es de cerámica en miniatura por lo cual no existe un trabajo excesivo que llegue a producir grandes cantidades de material particulado, y el MP\_A\_6 con un valor  $0,0906 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$  debido a que la actividad de alfarería no es la principal en el taller.

### Representación gráfica

Mediante la aplicación del método de interpolación IDW del programa ARCGIS 10.5 se representó gráficamente la dispersión del material sedimentable generado por las fuentes fijas. La clasificación de la tabla 5 se realizó de acuerdo al límite máximo permisible estipulado en el TULSMA:

Tabla 5. Clasificación según el límite máximo permisible del TULSMA.

<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
0,0696 – 0,3	Valores bajo la normativa
0,3 – 0,7	
0,7 - 1	Límite máximo permisible de la Normativa del TULSMA ( $1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ )
1,0001 – 2	Valores que sobrepasan la normativa
2,0001 – 4	
4,0001 – 11,941	

Fuente: Autor



Como se observa en la figura 10, el sector más afectado por la generación de material particulado sedimentable se encuentra en la zona del terminal terrestre provisional que es un lugar poblado del cantón, la alta concentración de este contaminante se debe básicamente a que se encuentra el punto MP\_A\_8 y MP\_A\_7 que son el primer y tercer punto respectivamente que generan la mayor cantidad de dicho contaminante.

En el centro urbano del cantón se encuentran ubicados varios puntos de muestreo es por esta razón que la concentración de material particulado sedimentable es en cierta manera alta en mayor parte del sector.

En el sector de Chaurinzhin al existir 5 puntos de muestreo entre ellos 4 alfarerías y 1 carpintería, la concentración del contaminante es baja debido a que es una zona más alta y libre de barreras por lo que la circulación del aire es óptima. Al igual que en el sector de Ucur y Tamaute al ser zonas abiertas al aire libre la concentración es baja, en excepción de la zona aledaña al punto MP\_C\_6 el cual según el análisis es el segundo punto con mayor generación del contaminante.

Zonas como Las Colinas, Llaver, Cruz Loma y Pungo Huayco tienen concentraciones bajas debido a que la generación de emisiones es baja y los talleres se encuentran localizados en zonas de corriente de aire libre.

La zona Sur del cantón en donde se encuentra el sector de Zhio y Capillapamba cuenta con 3 puntos dispersos de muestreo de los cuales los 2 ubicados en el sector de Zhio sobrepasan el límite máximo permisible por las actividades realizadas, pero se observa que la contaminación sobrepasa en toda la zona, lo que se debe que para el análisis de interpolación es necesario contar con puntos dispersos por toda la zona de manera contraria se produce una sobreestimación en los sitios donde no existen puntos de muestreo.

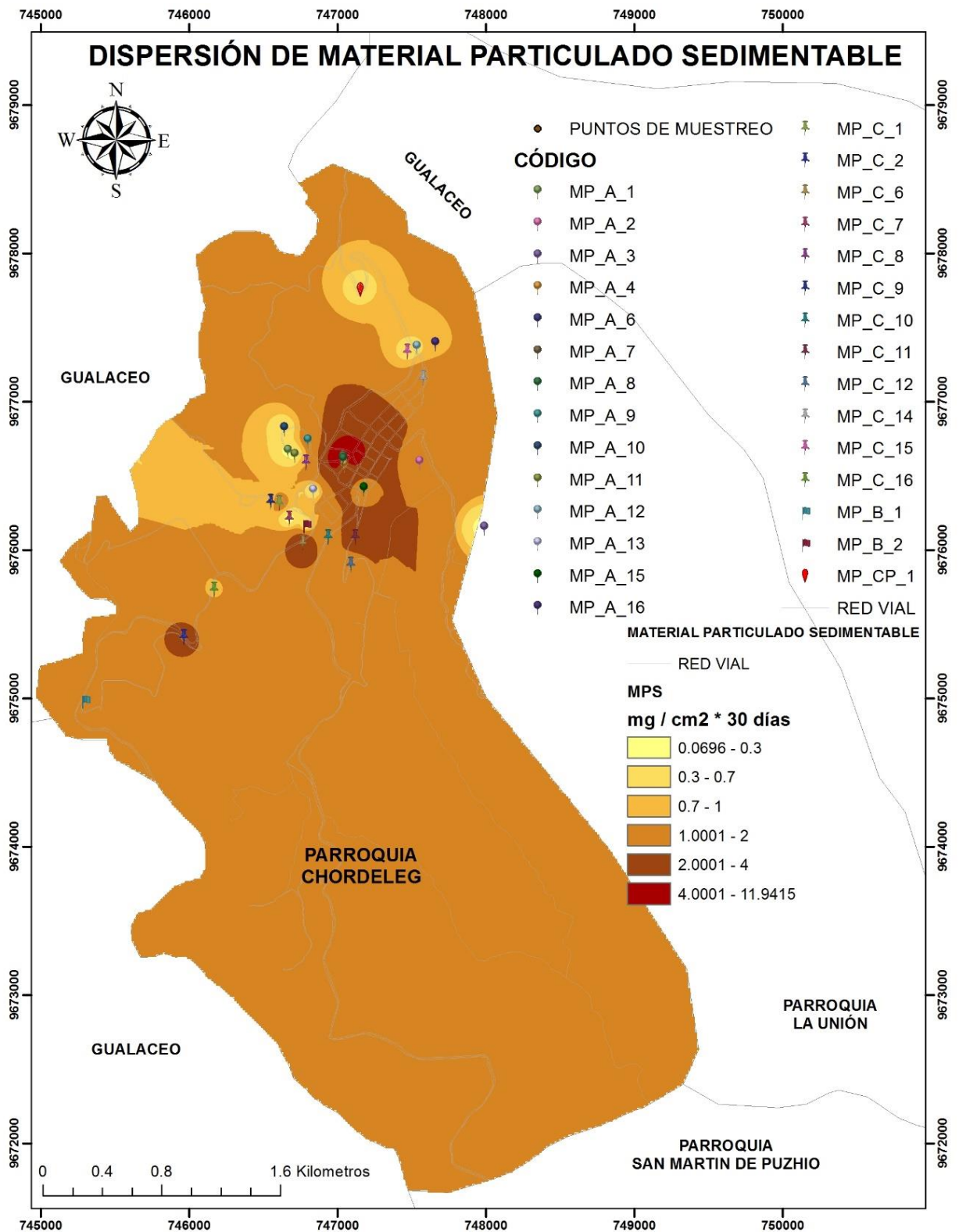


Figura 10. Dispersión del material particulado sedimentable

Fuente: Autor

### 3.2 Estimación de gases de combustión.



De igual manera que lo realizado con el análisis de material particulado sedimentable se utilizó como estudio base el inventario existente en el cantón Chordeleg, del cual se tomaron los 20 puntos críticos (figura 11) existentes para realizar el análisis de estimación de gases de combustión mediante el método de factores de emisión basado en procesos. El uso de encuestas realizadas en cada una de las actividades permitió determinar los datos de actividad como tipo y cantidad de combustible, horas de quema mensuales, número de quemas realizadas en un mes, mecanismos de control de gases, etc., que son necesarios para el análisis. Se logró determinar que existen 6 talleres de alfarería que no se encuentran en funcionamiento por distintos motivos presentados por los propietarios. Por lo que el análisis de los gases de combustión se llevó a cabo en los 14 puntos restantes de los cuales ninguno cuenta con un sistema de evacuación ni control de gases en sus hornos, esto se debe a que la producción no se realiza a gran escala sino que se solamente de forma artesanal.

En la tabla 6 se presenta las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, y SO<sub>x</sub> generadas en un mes por las 14 fuentes fijas consideradas en el estudio de las cuales todas corresponden a la fabricación artesanal de piezas de alfarería y cerámica.

La generación de contaminantes se debe a distintos factores de los procesos productivos como es el tiempo de actividad que determina de manera directa la cantidad de combustible a usarse; y el tipo combustible que relaciona a la calidad de emisiones que se van a emanar al exterior.

En el estudio se determinó mediante encuestas que para los 14 puntos de muestreo se utiliza como combustible la leña seca de eucalipto, debido a que los hornos de cocción de las piezas están diseñados y fabricados para el uso de este tipo de combustible.

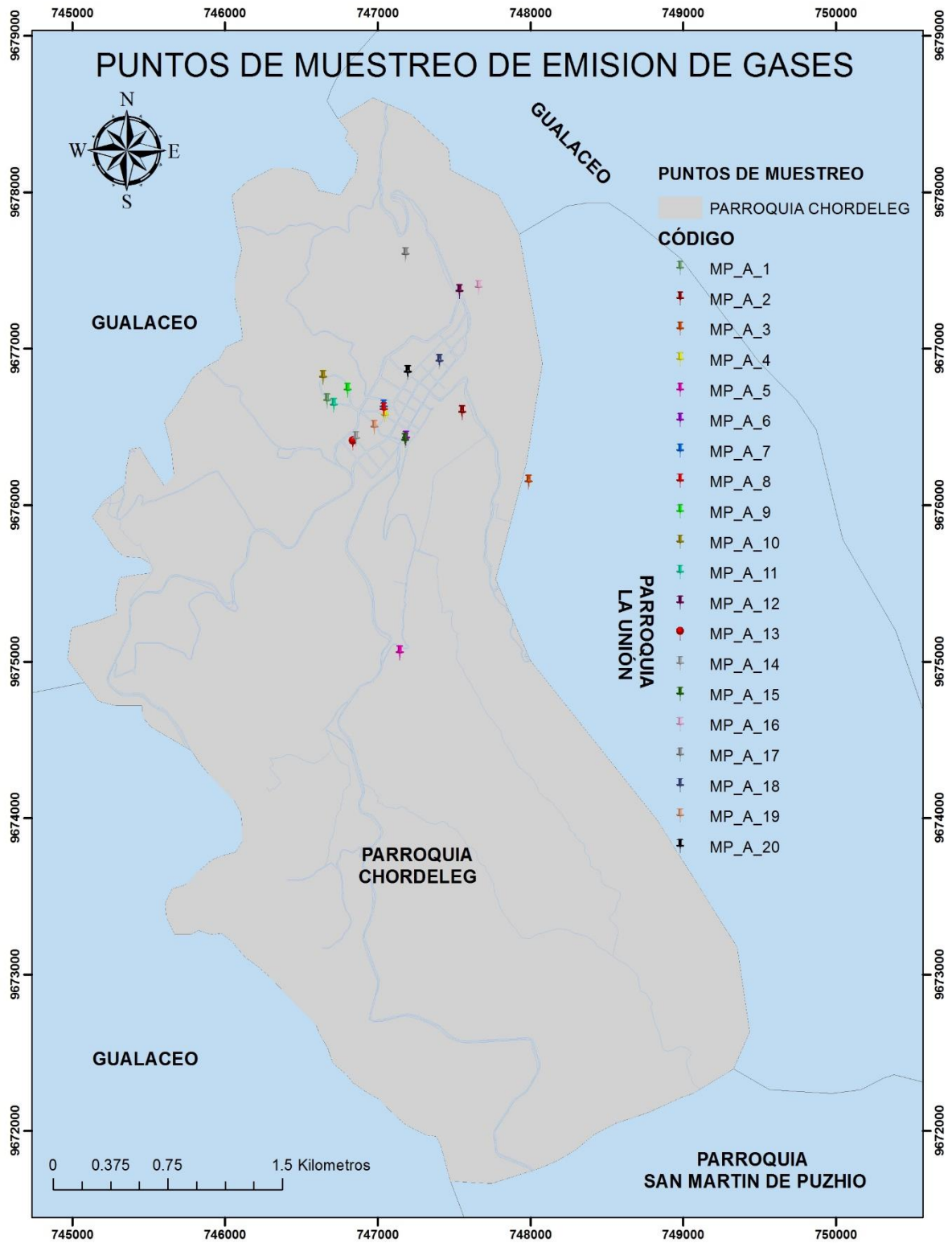


Figura 11. Puntos de muestreo de estimación de emisiones

Fuente: Autor



Código	# de hornos	Tipo de combustible	Horas de consumo mensual	Datos de actividad: DA (kg de leña / mes)	Emisiones mensuales (kg de compuesto / mes)		
					CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>
<i>Factor de emisión por compuesto (kg de compuesto / kg leña)</i>					0,00680	0,00075	0,00004
MP_A_1	1	Leña seca (eucalipto)	5	861,27	5,85663	0,64595	0,03445
MP_A_2	2	Leña seca (eucalipto)	60	1722,54	11,71327	1,29190	0,06890
MP_A_3	1	Leña seca (eucalipto)	20	4019,26	27,33096	3,01444	0,16077
MP_A_4	1	Leña seca (eucalipto)	4	574,18	3,90442	0,43063	0,02296
MP_A_6	1	Leña seca (eucalipto)	8	1148,36	7,80884	0,86127	0,04593
MP_A_7	2	Leña seca (eucalipto)	10,5	861,27	5,85663	0,64595	0,03445
MP_A_8	1	Leña seca (eucalipto)	10	2009,63	13,66548	1,50722	0,08038
MP_A_9	1	Leña seca (eucalipto)	32	4593,44	31,23539	3,44508	0,18373
MP_A_10	1	Leña seca (eucalipto)	4	430,635	2,92831	0,32297	0,01722
MP_A_11	1	Leña seca (eucalipto)	8	143,545	0,97610	0,10765	0,00574
MP_A_12	1	Leña seca (eucalipto)	18	3445,08	23,42654	2,58381	0,13780
MP_A_13	2	Leña seca (eucalipto)	22,5	1076,5875	7,32079	0,80744	0,04306
MP_A_15	1	Leña seca (eucalipto)	18	1148,36	7,80884	0,86127	0,04593
MP_A_16	1	Leña seca (eucalipto)	12	1148,36	7,80884	0,86127	0,04593

Tabla 6. Estimación de emisiones de gases contaminantes

Fuente: Autor

Según Aguirre & Machado, 2015 en su inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón Cuenca el uso de leña como combustible en las distintas industrias es la responsable de la generación de la mayor cantidad de emisiones CO, mientras que el NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> generado por la combustión de la madera no es tan representativo comparándolo con

el CO generado de acuerdo con la cantidad de combustible que se usa. El inventario realizado por Pareja et al., 2012 en la ciudad de Cochabamba, Bolivia, establece que las ladrilleras que utilizan hornos a base de biomasa (leña) como combustible son las mayores generadoras de contaminantes como CO, PM10, PM2.5, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, entre otros. Siendo el CO el que se encuentra en un mayor porcentaje.

Como se observa en la figura 12, en el cantón Chordeleg al ser la biomasa (leña) el principal y único combustible utilizado en todos los talleres de alfarería y cerámica, el CO con un 89,59% es el contaminante que se genera en mayor cantidad seguido por el NO<sub>x</sub> con un 9,88% y el SO<sub>x</sub> en un 0,53%, corroborando lo expuesto por Aguirre & Machado, 2015; Moscoso et al., 2018 y Pareja et al., 2012 que dan a conocer que al usar biomasa o carbón vegetal como combustible la generación de CO será superior a la de los otros contaminantes.

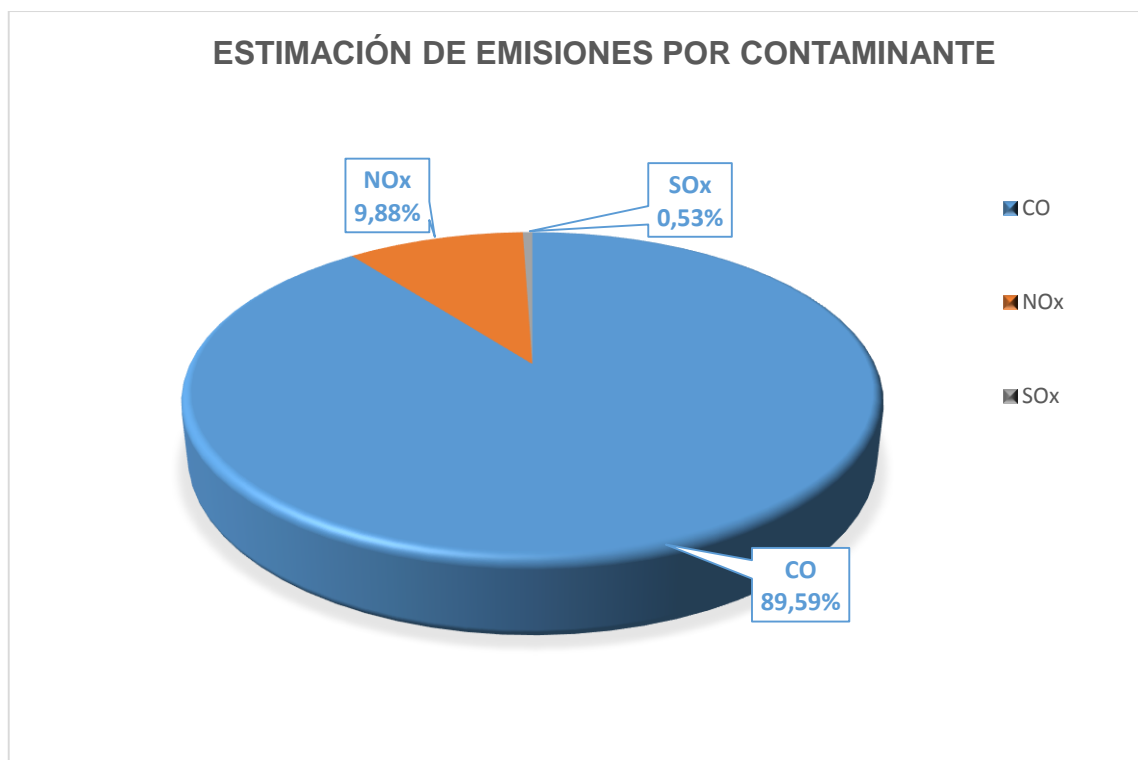


Figura 12. Estimación de emisiones por contaminante.

Fuente: Autor

### 3.2.1.1 Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es el contaminante generado en mayor porcentaje de manera general. La figura 13 detalla el total de emisiones estimadas para cada punto.



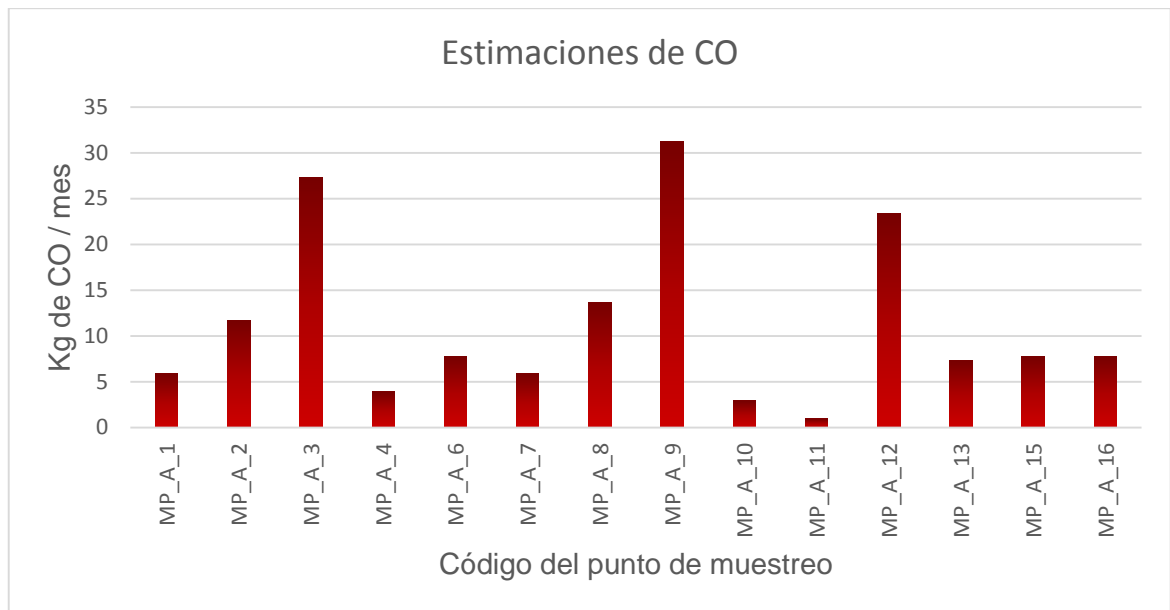


Figura 13. Estimación de las emisiones de CO por punto de muestreo

Fuente: Autor.

La estimación de emisiones de monóxido de carbono (CO) en un mes determina que el punto MP\_A\_9 con un valor de 31,235 Kg/mes, se considera que es el generador de la mayor cantidad de CO en el sector, debido a que la actividad de quemado en el horno de combustión a leña se realiza por lo general dos veces por semana, consumiendo 2 metros de leña por quema, lo que significa que mantiene una actividad constante.

En los dos siguientes puntos de muestreo se obtuvieron valores altos de emisiones de CO debido a que realizan 4 quemas mensuales en un horno de combustión a leña, las diferencias que hacen que los valores cambien es el diseño del horno y el horario de quema, como es el caso del punto MP\_A\_3 que genera 27,331 kg/mes, en este taller el diseño del horno es más grande y se opta por comenzar la quema en horarios entre las 5 y 6 de la mañana, lo que implica el uso de una mayor cantidad de combustible para calentar el horno, mientras que en el punto MP\_A\_12 el horario de inicio de la quema es entre las 6 y 7 de la noche y el diseño del horno es más pequeño y cerrado lo que permite llegar a temperaturas óptimas con menor cantidad de combustible generando así 23,427 Kg/mes.

Los puntos que se encuentran en un valor medio-alto son MP\_A\_8 con un valor de 13,665 Kg/mes, el hecho se debe a que se realizan 4 quemas mensuales pero el



consumo de combustible por quema es bajo en vista de que el horno no es de gran tamaño; y el punto MP\_A\_2 que aunque este taller cuenta con 2 hornos pequeños y realiza 12 quemas mensuales la generación de CO es de 11,713 Kg/mes debido a que la cantidad de combustible por quema es muy baja.

Existen 6 puntos de muestreo que se los considera en un punto medio-bajo, tres de ellos son MP\_A\_6, MP\_A\_15 y MP\_A\_16 con un valor de 7,809 Kg/mes que consumen la misma cantidad de combustible y realizan 2 quemas mensuales; el punto MP\_A\_13 presenta un valor de 7,321 Kg/mes cercano al anterior debido a que utiliza un poco más de combustible pero realiza 3 quemas en dos meses; y los siguientes dos puntos MP\_A\_1 y MP\_A\_7 que generan 5,875 Kg/mes por el hecho de que el combustible consumido es el mismo al igual que las quemas mensuales.

Los 3 siguientes puntos MP\_A\_4, MP\_A\_10 y MP\_A\_11 se les consideran bajos debido a que su consumo de leña es poco y por lo general realizan una quema mensual o cada dos meses, sus valores son de 3,904, 2,928 y 0,976 Kg/mes respectivamente.

Según Aponte et al., 2010 en su inventario en la ciudad de Cali determinan que la generación de CO de una caldera que funciona con madera como combustible es de 1,32 Ton/año siendo esta la que genera mayor cantidad de CO, mientras que una que funcione con combustible gaseoso es de 0,382 Ton/año aproximadamente. Por otro lado en el estudio de Moscoso et al., 2018 del parque industrial de la ciudad de Cuenca se puede apreciar que la empresa de fabricación de muebles genera el valor más alto de CO 1,0745 Kg/h, debido a que se usa madera como combustible en parte de sus procesos productivos.

En la tabla 7 se expresa la estimación de emisiones por horas de consumo, mensual y anual respectivamente, lo que permite comparar con los datos de casos de estudio.

*Tabla 7. Emisiones por hora, mes y año.*

<i>Código</i>	<i>Horas de</i>	<i>Emisiones de CO</i>
---------------	-----------------	------------------------



	<i>consumo mensual</i>	<i>Kg de CO / hora</i>	<i>Kg de CO / mes</i>	<i>Kg de CO / año</i>
<i>MP_A_1</i>	5	1,171	5,857	70,280
<i>MP_A_2</i>	60	0,195	11,713	140,559
<i>MP_A_3</i>	20	1,367	27,331	327,972
<i>MP_A_4</i>	4	0,976	3,904	46,853
<i>MP_A_6</i>	8	0,976	0,809	93,706
<i>MP_A_7</i>	10.5	0,558	5,857	70,280
<i>MP_A_8</i>	10	1,367	13,665	163,986
<i>MP_A_9</i>	32	0,976	31,235	374,825
<i>MP_A_10</i>	4	0,732	2,928	35,140
<i>MP_A_11</i>	8	0,122	0,976	11,713
<i>MP_A_12</i>	18	1,301	23,427	281,119
<i>MP_A_13</i>	22.5	0,325	7,321	87,850
<i>MP_A_15</i>	18	0,434	7,809	93,706
<i>MP_A_16</i>	12	0,651	7,809	93,706

Fuente: Autor

La estimación realizada para este estudio determina que en Chordeleg el punto de muestreo con la más alta emisión mensual y anual de CO es el MP\_A\_9 con 374,825 kg/año, resultando un 70 % aproximadamente menor al punto con mayor generación del estudio de Aponte et al., 2010, esto puede deberse a que la ciudad de Cali cuenta con grandes industrias por lo que el análisis se realizó a nivel industrial, en cambio, en este estudio el análisis se realizó a nivel de talleres artesanales. Mientras que los puntos con mayor generación de emisiones de CO por hora son MP\_A\_3 y MP\_A\_8 con un total de 1,367 kg/h cada uno, este valor es mayor al reportado por Moscoso et al., 2018 (1,0745 Kg/h) el cual es el máximo valor de emisiones de CO; la razón de que el valor de este estudio sea mayor al de una industria puede deberse a que la actividad de fabricación de muebles es distinta a la de la alfarería ya que el proceso productivo necesita una cantidad distinta de combustible (madera) por hora.

Al comparar con el análisis mensual y anual se observa que no es necesariamente el taller que produce mayor cantidad de emisiones por hora el que genera un más alto valor de emisiones mensuales y anuales, sino que el análisis mensual y anual se debe



de manera directa a los datos de actividad productiva del taller lo que implica un mayor uso de combustible.

### Representación gráfica de las emisiones de Monóxido de Carbono (CO)

Según Aguirre & Machado, 2015 la carga contaminante estimada de gases de combustión como el CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, no tiene límites máximos permisibles, es decir, no cuentan con una normativa estructurada con la cual se pueda comparar, por lo que se establece que se debe identificar los puntos que se encuentran con valores altos, medios y bajos para un mejor entendimiento.

La clasificación se realizó en 8 subgrupos mediante el uso de herramientas de ARCGIS 10.5 y se los determinó los valores altos medios y bajos como lo indica la tabla 8:

Tabla 8. Clasificación de las emisiones de CO según el rango.

Rango	Descripción
0,976 – 3,080	Bajo
3,080 – 5,875	
5,875 – 8,405	Medio-bajo
8,405 – 11,713	
11,713 – 17,300	Medio-alto
17,301 – 23,427	
23,427 – 27,537	Alto
27,537 – 31,235	

Fuente: autor.

Como se observa en la figura 14 el sector que se ve más afectado por las emisiones es en la parte Noreste en Chaurinzhin debido a que en esta zona se encuentra localizado el punto MP\_A\_9 que tiene el valor más alto de emisiones de CO, la ventaja del sitio es que se encuentra en una zona alta libre de barreras físicas y con una corriente de aire abierta que alrededor se encuentran pocas viviendas.

El sector de Pungo Huayco donde se encuentra situado el punto MP\_A\_3 que tiene un valor alto de emisiones, pero debido a que el sitio cuenta con una ventilación apropiada, rodeado de vegetación y alejado de la zona urbana hace que su incidencia en el ambiente y las personas sea muy baja. Otro de los puntos con un valor alto MP\_A\_12 se encuentra cerca del punto MP\_A\_16 en el sector de Llaver, en donde cuentan con una corriente de aire libre, pero en las zonas aledañas se pueden encontrar viviendas lo que genera malestar en los habitantes.



La generación de emisiones de CO en el centro urbano del cantón según el análisis se encuentra en límites bajos a pesar de que existen seis puntos de muestreo.

La zona noroeste del sector Chaurinzhin en donde se encuentran ubicados dos talleres de alfarería y uno de cerámica no tiene mayor afección debido a que las emisiones son bajas y el sitio se encuentra en una zona alta y cuenta con corrientes de aire libre.

En la zona sur se observa una sobreestimación de las emisiones, esto se debe a que la interpolación generada con IDW necesita tener una dispersión de puntos de muestreo homogénea por toda la zona de estudio, lo cual no se cumple en este caso debido a que se analiza solo los puntos críticos especificados en el inventario existente en el GAD Municipal.

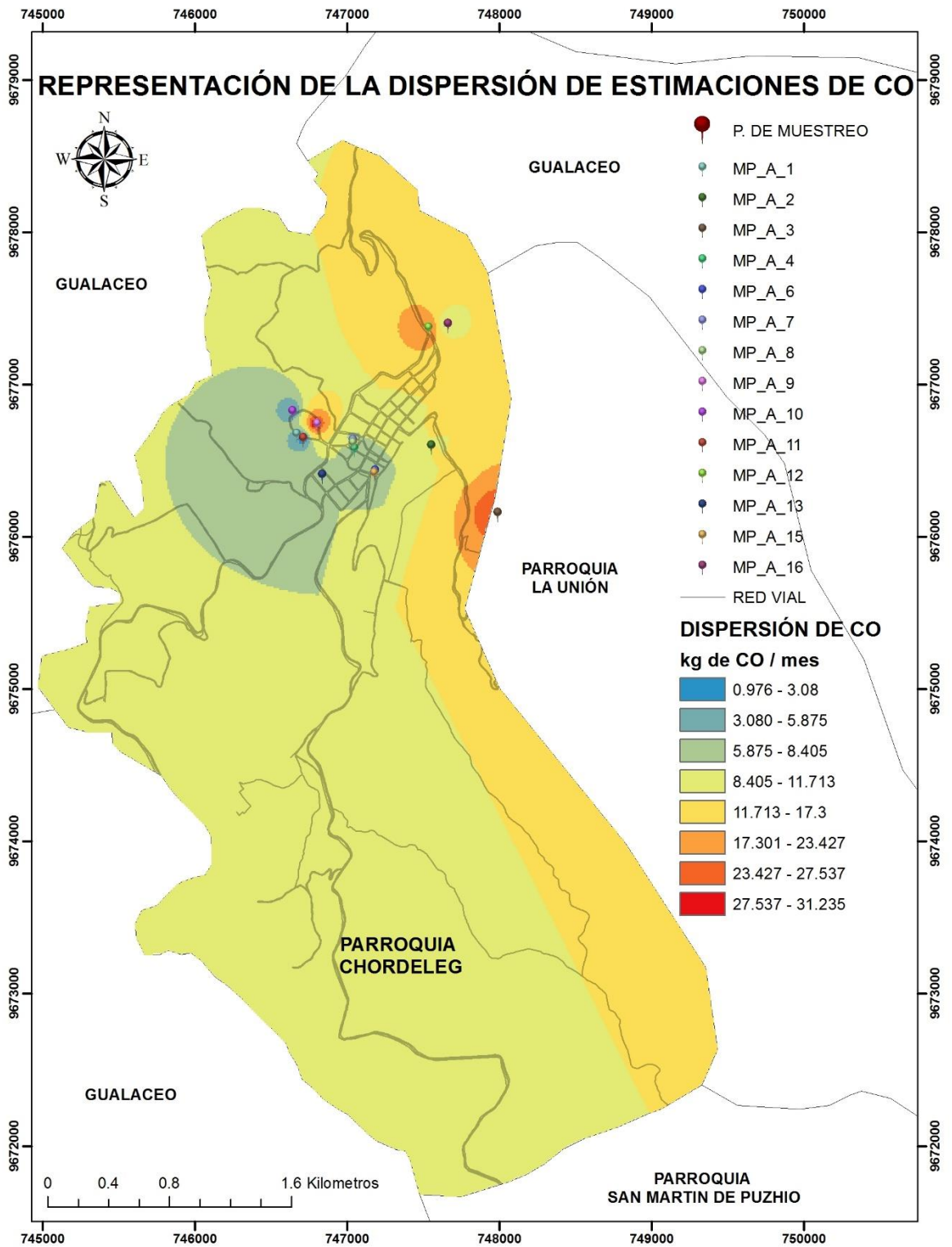


Figura 14. Dispersión de Monóxido de Carbono (CO)

Fuente: Autor

### 3.2.1.2 Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) a nivel general no causaron tanto impacto como el monóxido de carbono, el porcentaje fue de 9,88 %.

En el inventario realizado en Cali por Aponte et al., 2010 se da a conocer que los valores de NO<sub>x</sub> más altos se deben básicamente al uso de carbón como combustible. En este mismo estudio determinan que el uso de madera como combustible en un horno genera una cantidad alta de CO, pero el valor de NO<sub>x</sub> generado en un horno que funciona a leña es menor en un 90 %. En el estudio realizado por Pareja et al., 2012 en la ciudad de Cochabamba de igual manera se observa que la generación de NO<sub>x</sub> en las ladrilleras que utilizan madera como combustible es menor en un 95 % al valor del CO.

En este estudio según el análisis mensual se logró determinar que la generación de NO<sub>x</sub> es menor en un 89 % en comparación a la de CO, esta relación se da debido a que en todos los puntos de muestreo se utiliza madera como combustible. Por lo que se determina que la generación de NO<sub>x</sub> en nuestro estudio es baja.

El análisis de la figura 15 que detalla la cantidad de emisiones estimadas y tras conocer que la carga contaminante de NO<sub>x</sub> no se rige a ninguna normativa, se determina que los valores son bajos en todos los puntos, siendo 3,445 Kg/mes el valor más alto en el punto MP\_A\_9 debido a que la actividad productiva es alta. Los dos siguientes puntos MP\_A\_3 y MP\_A\_12 tienen los valores de 3,014 y 2,584 Kg/mes.

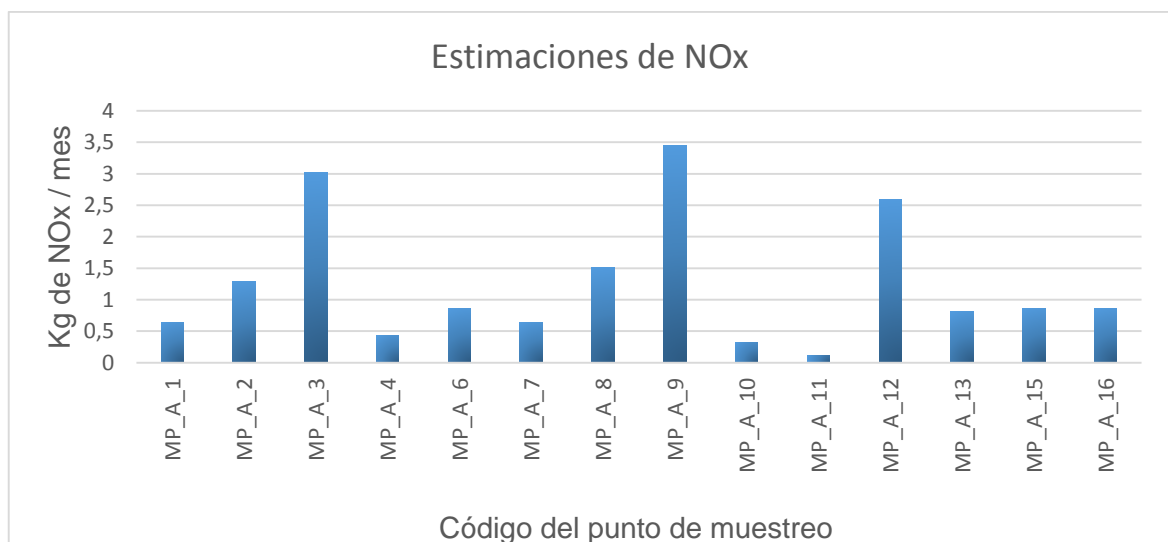


Figura 15. Estimación de las emisiones de NO<sub>x</sub> por punto de muestreo

Fuente: Autor.

### Representación gráfica de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)



Se determinó la clasificación según lo expresado por Aguirre & Machado, 2015, en 6 subgrupos considerando dos rangos muy bajo y bajo, como se expresa en la tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de las emisiones de NO<sub>x</sub> según el rango.

Rango	Descripción
0,107 – 0,707	Muy bajo
0,707 – 1,315	
1,315 – 1,958	
1,958 – 2,584	Bajo
2,584 – 3,014	
3,014 – 3,445	

Fuente: Autor

Los sectores de Chaurinzhin, Pungo Huayco y Llaver se ven influenciados por las emisiones debido a que en estos sitios se encuentran los puntos que mayor cantidad de NO<sub>x</sub> generan, aunque las emisiones son bajas los sitios cuentan con infraestructuras que permiten que la corriente del aire circule libremente lo que reduce el riesgo de contaminación (Figura 16).

En el centro cantonal a pesar de que se encuentran algunos puntos no se ve afectado por este contaminante.



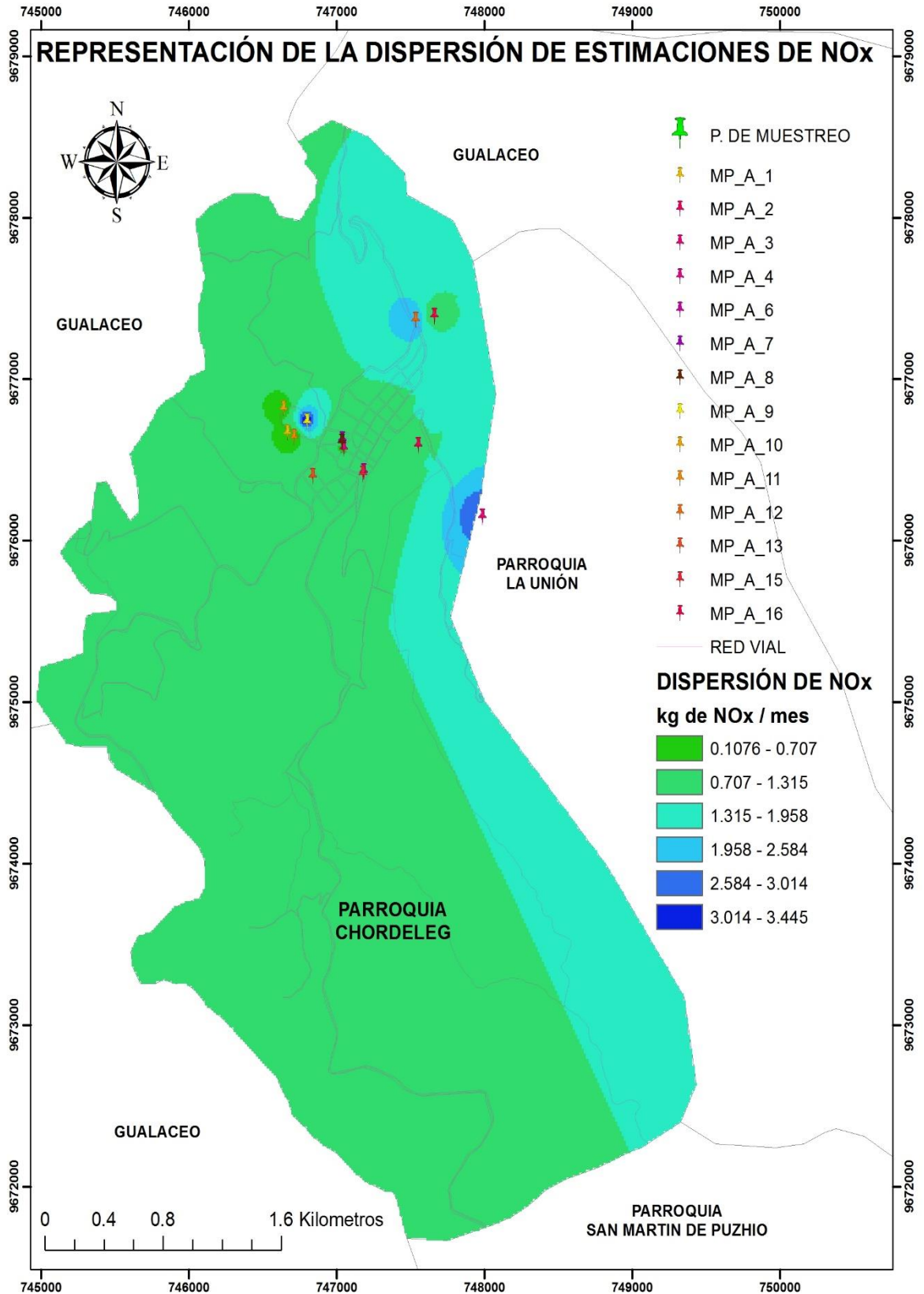


Figura 16. Dispensión de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Fuente: Autor.

### 3.2.1.3 Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>)

El impacto generado por los óxidos de azufre no es relevante ya que en el presente estudio el porcentaje de emisiones estimadas es de 0,53 % del total de gases generados.

Aguirre & Machado, 2015; Aponte et al., 2010; y Moscoso et al., 2018 en los inventarios realizados demuestran que las emisiones de SO<sub>x</sub> generadas por la utilización de la leña como combustible son mínimas que rodean un porcentaje menor al 1 % con respecto al CO y NO<sub>x</sub>. Este estudio no es la excepción ya que los valores de las emisiones son demasiado bajos que incluso se podría decir que insignificantes en ciertos casos.

En la figura 17 se muestra la cantidad de SO<sub>x</sub> estimada por punto de muestreo; siendo en todos los sitios menor a los 0,2 kg/ por mes, el punto que registra la emisión más alta es el MP\_A\_9 con un valor 0,1837 kg/mes, por lo que se considera que este contaminante en cantidades tan bajas no causa inconvenientes mayores al ambiente.

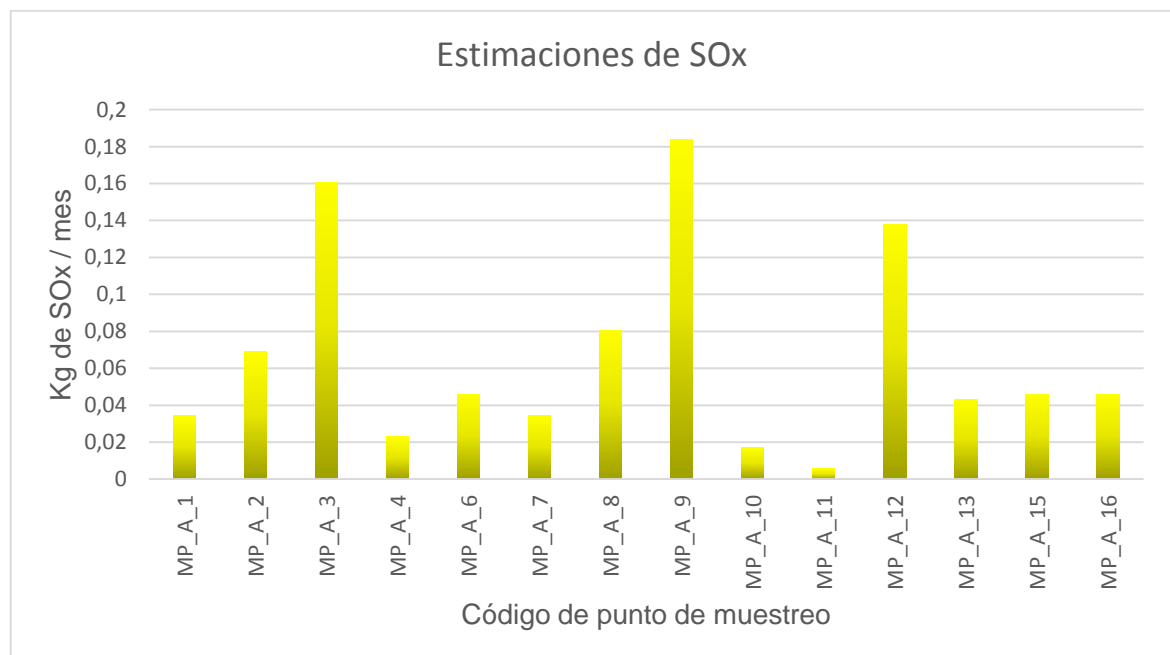


Figura 17. Estimación de las emisiones de SO<sub>x</sub> por punto de muestreo.

Fuente: Autor.

### Representación gráfica de las emisiones de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>)



Al tener emisiones tan bajas la clasificación se realizó siguiendo lo mencionado por Aguirre & Machado, 2015, en 4 subgrupos en dos rangos: bajo y muy bajo, como se expresa en la tabla 10.

Tabla 10. Clasificación de las emisiones de  $SO_x$  según el rango.

Rango	Descripción
0,0057 – 0,0351	
0,0351 – 0,0867	Muy bajo
0,0867 – 0,1253	
0,1253 – 0,1837	Bajo

Fuente: autor.

En la figura 18 podemos observar que los sectores en los que se encuentran los puntos con mayor cantidad de emisiones son Chaurinzhin, Pungo Huayco y Llaver, y en el centro cantonal las emisiones de  $SO_x$  son demasiado bajas como para ser consideradas perjudiciales para el ambiente.

La sobreestimación generada en el mapa se debe a que la ubicación de los puntos de muestreo no es homogénea y en cierta parte a que la clasificación es pequeña debido a ser concentraciones bajas.

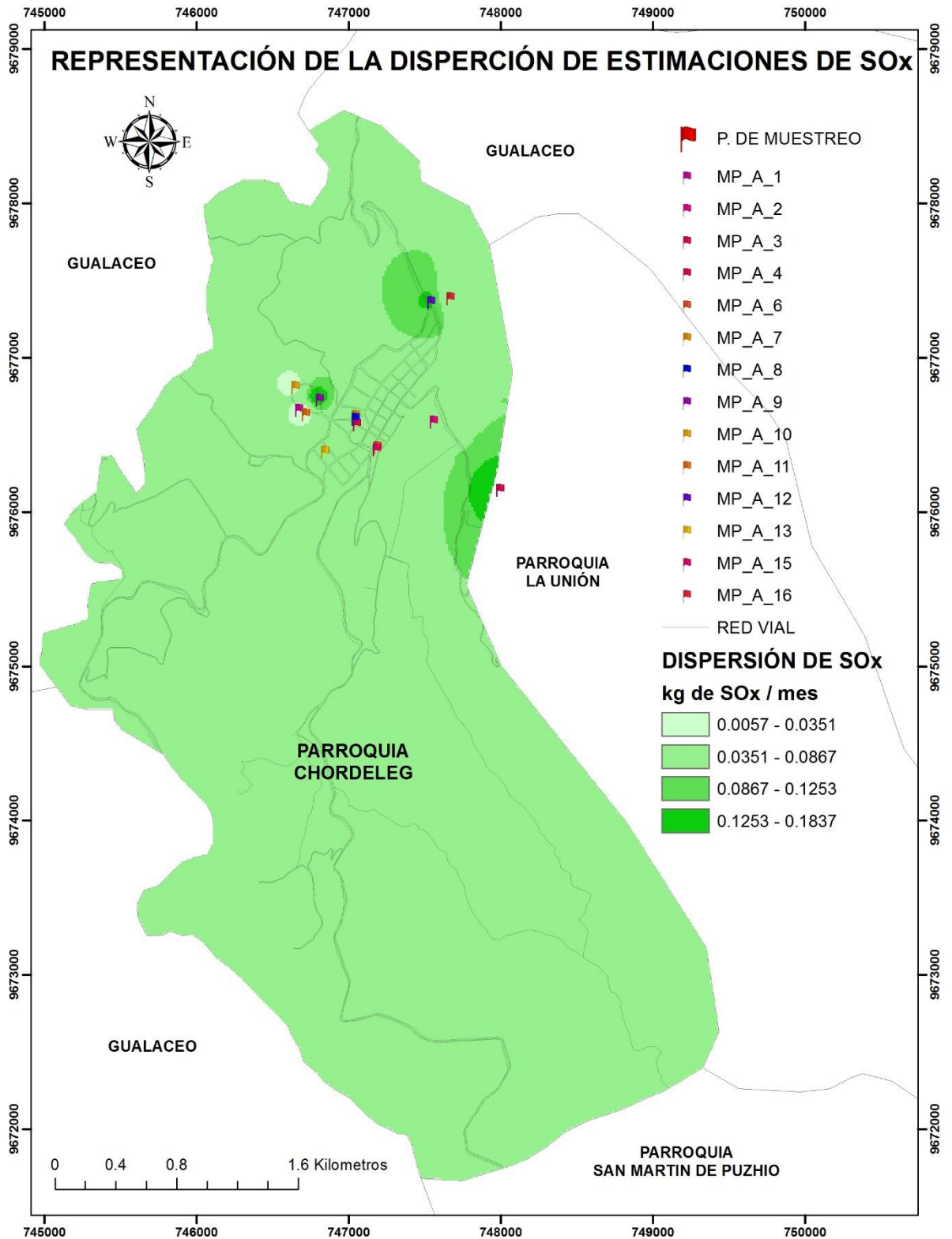


Figura 18. Dispersión de Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>)

Fuente: Autor.



## CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo principal la elaboración de un inventario de emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas críticas del cantón Chordeleg, analizando la cantidad de material particulado emitido por las fuentes y mediante la estimación de gases CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> generados, por el método de factores de emisión. Una vez finalizado el estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

El punto MP\_A\_8 reporta la mayor concentración de material particulado sedimentable, esto podría atribuirse a que el taller no cuenta con una correcta infraestructura que permita dispersar el contaminante al exterior, lo cual conlleva a ser un problema de salud y seguridad laboral por la exposición a altos niveles de estas partículas.

Los 12 puntos que sobrepasan los límites máximos permisibles del TULSMA se debe al diseño de la infraestructura y en ciertos casos existen interferencias como la vialidad en mal estado o calles lastradas que generan un alto porcentaje de partículas al aire.

De la estimación de gases contaminantes, el CO es el que se genera en mayor porcentaje con un 89,59 %, seguido por el NO<sub>x</sub> con un 9,88 % y un valor mínimo de SO<sub>x</sub>, debido a que los hornos de los 14 puntos de muestreo utilizan leña como combustible. Los puntos MP\_A\_9, MP\_A\_3 y MP\_A\_12 son los mayores generadores de gases contaminantes, debido a su nivel de actividad productiva.

El centro urbano es el que se ve mayormente afectado por la generación de material particulado sedimentable, mientras que las emisiones de gases no es alta en el sector pero se ve afectado debido a que las emisiones no pueden ser dispersadas de manera correcta por la existencia de barreras (viviendas) lo que conlleva a un problema ambiental y social.

En el sector de Chaurinzhin, Llaver y Pungo Huayco, se encuentran los puntos con los valores más altos de estimación de gases, según las características de estos lugares permiten que sean dispersados provocando un menor impacto en los habitantes.



## 4.2 Recomendaciones.

En el cantón Chordeleg debido a que su matriz productiva está basada en la fabricación artesanal de joyas, calzado y cerámica, es necesario que se brinde mayor apertura a la realización de estudios de este tipo y de manera general estudios enfocados al medio ambiente.

El control de la calidad ambiental en el cantón es importante por lo que es necesaria la actualización del inventario de emisiones cada 2 o 3 años para lograr determinar la situación ambiental y de la misma forma poder promocionar a Chordeleg como un cantón ambientalmente amigable.

La emanación de gases viene siendo un problema en cierta manera de ámbito social debido a que las personas aledañas a los talleres se sienten amenazadas por los mismos, el análisis presentado en este estudio determina una generación baja a comparación de otras ciudades, pero no deja a un lado que sea un problema en el cantón, por lo que las autoridades competentes deberían sentarse a dialogar sobre el tema con los artesanos buscando llegar a tener soluciones que beneficien a ambas partes.

La intervención en la generación de gases no debería ser únicamente en los puntos críticos de fuentes fijas sino que se debería implementar en fuentes móviles las cuales según lo analizado en bibliografía es uno de los principales contaminantes del aire a nivel mundial.

Finalmente los dueños de los talleres deberían analizar la implementación de medidas de producción más limpia que favorezcan su producción y sean amigables con el ambiente, buscando así tener un costo beneficio favorable para su economía.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J. F., & Machado, J. A. (2015). *ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN ESTABLECIDAS EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA PARA LA ESTIMACIÓN DE SUS EMISIONES ATMOSFÉRICAS* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21768/1/tesis.pdf>
- Albert, L. (2004). *Toxicología Ambiental: Contaminación Ambiental*. 37–52.
- Aponte, C., Silva, J., & Laín, S. (2010). *Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali*. 34, 106–114.
- Arciniégas, A. (2012). DIAGNOSIS AND CONTROL OF PARTICULATE MATTER: TOTAL SUSPENDED PARTICLES PM10 BREATHABLE FRACTION. *Luna Azul*, (34), 195–213.
- Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado. *MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO*. , (1997).
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 159–175.
- Bravo, L. L. (2017). *Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo* (B.S. thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27760/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Cañada, M. R., Moreno, A., & González, H. (2014). Modelado de la calidad del aire urbano. Un experimento meteorológico con técnicas de interpolación espacial. *BAGE*, (65), 317–342.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas. (2016). *COMPONENTE INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS PUNTUALES. AÑO BASE 2014*. Retrieved from <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/Inventario%20Fuentes%20Fijas%202014.pdf>.
- Cruzado, A., & Valdez, B. (2013). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas* [PhD Thesis]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Egger, A. E. (2003). *La Atmósfera de la Tierra*. Retrieved from <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/La-Atm%C3%B3sfera-de-la-Tierra/107>



- EMOV. (2016). *Calidad del Aire Cuenca 2015* (p. 17). Retrieved from [http://www.emov.gob.ec/sites/default/files/Calidad%20del%20Aire%20final%202015\\_0.pdf](http://www.emov.gob.ec/sites/default/files/Calidad%20del%20Aire%20final%202015_0.pdf)
- Gaitán, M., & Cárdenas, P. (2016). *GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- IDEAM. (2012). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010* (p. 311). Retrieved from Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible website: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>
- INSHT. (2014). *DIÓXIDO DE AZUFRE: DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DEL DIÓXIDO DE AZUFRE*. Retrieved from [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20\\_VALORES%20LIMITE/Doc\\_Toxicologica/Capitulos%2083%20\\_90/Ficheros%202014/DLEP%2086%20DIOXIDO%20DE%20AZUFRE.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/Capitulos%2083%20_90/Ficheros%202014/DLEP%2086%20DIOXIDO%20DE%20AZUFRE.pdf)
- Jaramillo, M., Núñez, M. E., Ocampo, W., Pérez, D., & Portilla, G. (2004). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Caliyumbo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (31).
- Jaya, J., & Gomezcoello, J. (2010). *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión de ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles*.
- MAE. (2007). *Plan Nacional de Calidad de las Aire PNCA* (pp. 6–15). Ecuador.
- MAE. (2015). *Reforma del Texto Unificado de la Legislación Secundaria Ambiental (TULSMA) publicado en el RO No. 387 del 4 de noviembre del 2015: NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISIÓN LIBRO VI ANEXO 4* (No. 387). Quito.
- Ministerio del ambiente. (2014). *Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) Exploracion Inicial 2008 - 2012*. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242984/6.+Cuenta+de+Emisiones+al+Aire.pdf/9ffc6202-2c7d-4bef-b3be-8133da96dd78;jsessionid=wpbUsLTTGPGHmXtexWMwAiRB?version=1.0>
- Moscoso, D., Astudillo, A., & Morales, M. (2018). *INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA ECUADOR*. 45, 33–45.





- Noceda, M. D. (2013). *ESTIMACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS ANTROPOGÉNICAS A ESCALA LOCAL, REGIONAL Y CONTINENTAL*. Universidad Santiago de Compostela, España.
- OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- O’Ryan, R., & Larraguibel, L. (2000). *Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones* (Vol. 75). Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.
- Pareja, A., Hinojosa, M., & Luján, M. (2012). Inventario de emisiones atmosféricas contaminantes de la ciudad de Cochabamba, Bolivia, año 2008. *Acta Nova*, 5(3), 344–373.
- Pinos, N. (2017). *INFORME DE LA SITUACIÓN AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS CONTAMINANTES* (p. 121). Chordeleg.
- Rodríguez, F. (2014). *Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá DC*. 22.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2009). *Elementos Técnicos del Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá*. Retrieved from <https://uniandes.edu.co/sites/default/files/asset/document/parte-2-inventario.pdf>
- Serrano, M., Folch, W., Triviño, R., Villafranca, R., Jadrijevic, M., Contreras, C., ... Bordones, J. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*. Chile: Comisión nacional del Medio Ambiente.
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8, 108–117.
- Wong, D. W., Yuan, L., & Perlin, S. A. (2004). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 14(5), 404–415. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500338>
- Yassi, A., Kjellstrom, T., Kok, T., & Guidotti, T. L. (2002). *Salud ambiental básica* (Primera). México: Oficina Regional de Cultura para América Latina y el Caribe.



## ANEXOS.

## Anexo 1. Puntos de muestreo de estimación de emisiones

Código	Coordenadas		Sector	Características
	X	Y		
MP_A_1	-78,7809600833	-2,92305169437	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 6 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros
MP_A_2	-78,7730032873	-2,92372972858	Cruz Loma	Taller de alfarería Dos hornos de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 50 metros de la carretera Vivienda más cercana 40 metros
MP_A_3	-78,7690771656	-2,9277181766	Pungo Huayco	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones expuesto al aire libre Ubicado a 100 metros de la carretera Vivienda más cercana a 20 metros
MP_A_4	-78,7775451316	-2,92389403539	La Gruta	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 2 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_5	-78,7766519753	-2,93761054407	Sagrasay	Sin funcionamiento
MP_A_6	-78,776309	-2.925213	CIBV	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 12 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_7	-78,7776168845	-2,92341087563	Terminal	Taller de alfarería Dos hornos de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 8 metros de la carretera Vivienda más cercana a 13 metros
MP_A_8	-78,7776263755	-2,92356650754	Terminal	Taller de alfarería



				Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 4 metros de la carretera Vivienda más cercana a 7 metros
MP_A_9	-78,779756158	-2,92243974153	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 6 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros
MP_A_10	-78,7811899867	-2,92169707753	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 25 metros de la carretera Vivienda más cercana a 8 metros
MP_A_11	-78,7805701206	-2,92330491428	Chaurinzhin	Taller de cerámica en miniatura. Un horno pequeño de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_12	-78,7731716972	-2,91671894391	Llaver	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_13	-78,7794259345	-2,92548770114	Ucur	Taller de cerámica fina. Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 20 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_14	-78.779251	-2.925232	Ucur	Sin funcionamiento
MP_A_15	-78,7763642538	-2,92535260257	CIBV	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_16	-78,7720336632	-2,91649658244	Llaver	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 15 metros de la carretera Vivienda más cercana a 7 metros
MP_A_17	-78,7763574527	-2,91459954328	Lican	Sin funcionamiento



MP_A_18	-78,7743497461	-2,92077714664	Centro Cantonal	Sin funcionamiento
MP_A_19	-78,7781643974	-2,92457171925	La Gruta	Sin funcionamiento
MP_A_20	-78.7762112854	-2,92139806197	Centro Cantonal	Sin funcionamiento

Fuente: Autor.



## Anexo 2. Puntos de muestreo de material particulado sedimentable.

Código	Coordenadas		Sector	Características
	X	Y		
MP_A_1	-78,7809600833	-2,92305169437	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 6 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros
MP_A_2	-78,7730032873	-2,92372972858	Cruz Loma	Taller de alfarería Dos hornos de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 50 metros de la carretera Vivienda más cercana 40 metros
MP_A_3	-78,7690771656	-2,9277181766	Pungo Huayco	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones expuesto al aire libre Ubicado a 100 metros de la carretera Vivienda más cercana a 20 metros
MP_A_4	-78,7775451316	-2,92389403539	La Gruta	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 2 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_5	-78,7766519753	-2,93761054407	Sagrasay	Sin funcionamiento
MP_A_6	-78,776309	-2.925213	CIBV	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 12 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_7	-78,7776168845	-2,92341087563	Terminal	Taller de alfarería Dos hornos de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 8 metros de la carretera Vivienda más cercana a 13 metros
MP_A_8	-78,7776263755	-2,92356650754	Terminal	Taller de alfarería



				Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 4 metros de la carretera Vivienda más cercana a 7 metros
MP_A_9	-78,779756158	-2,92243974153	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 6 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros
MP_A_10	-78,7811899867	-2,92169707753	Chaurinzhin	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 25 metros de la carretera Vivienda más cercana a 8 metros
MP_A_11	-78,7805701206	-2,92330491428	Chaurinzhin	Taller de cerámica en miniatura. Un horno pequeño de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_12	-78,7731716972	-2,91671894391	Llaver	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_13	-78,7794259345	-2,92548770114	Ucur	Taller de cerámica fina. Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 20 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_14	-78.779251	-2.925232	Ucur	Sin funcionamiento
MP_A_15	-78,7763642538	-2,92535260257	CIBV	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 5 metros
MP_A_16	-78,7720336632	-2,91649658244	Llaver	Taller de alfarería Un horno de combustión a leña sin control de emisiones Ubicado a 15 metros de la carretera Vivienda más cercana a 7 metros
MP_A_17	-78,7763574527	-2,91459954328	Lican	Sin funcionamiento



MP_A_18	-78,7743497461	-2.92077714664	Centro Cantonal	Sin funcionamiento
MP_A_19	-78,7781643974	-2.92457171925	La Gruta	Sin funcionamiento
MP_A_20	-78.7762112854	-2.92139806197	Centro Cantonal	Sin funcionamiento
MP_C_1	-78.7814933464	-2.92624141893	Tamaute	Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Ubicada a 5 metros de la carretera Vivienda más cercana a 15 metros
MP_C_2	-78.7874608121	-2.93444757651	Zhio	Taller de carpintería Fabricación de mesas y sillas Una cortadora de madera semindustrial Ubicada a 2 metros de la carretera Vivienda más cercana a 3 metros
MP_C_3	-78.7872526654	-2.93440059087	Zhio	Cambio de sitio Fuera de funcionamiento
MP_C_4	-78.7773286577	-2.92971422078	Las Colinas	Sin funcionamiento
MP_C_5	-78.7765098037	-2.92141592203	Centro Cantonal	Sin funcionamiento
MP_C_6	-78.7800540325	-2.92866258341	Ucur	Taller de carpintería Una cortadora de madera industrial Ubicada a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 20 metros
MP_C_7	-78.780869	-2.927177	Polideportivo	Taller de carpintería Una cortadora de madera industrial Ubicada a 40 metros de la carretera No hay viviendas cercanas
MP_C_8	-78.7798685287	-2.92375237074	Chaurinzhin	Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Pulidora de madera Ubicada en la planta baja de la vivienda a 6 metros de la carretera
MP_C_9	-78.7820100727	-2.92616269359	Tamaute	Taller de carpintería Una cortadora de madera semindustrial Ubicada a 20 metros de la carretera



MP_C_1 0	-78.7785319398	-2.92829428668	El Tablón	Vivienda más cercana a 10 metros Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Una pulidora Ubicada a 2 metros de la carretera Vivienda más cercana a 15 metros con taller de zapatería.
MP_C_1 1	-78.7768787289	-2.92830693185	Las Colinas	Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Una pulidora de madera industrial Ubicada a 3 metros de la carretera Vivienda más cercana a 8 metros
MP_C_1 2	-78.7771529096	-2.9299661671	Las Colinas	Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Ubicada a 10 metros de la carretera Vivienda más cercana a 12 metros
MP_C_1 3	-78.7751424076	-2.92083917885	Centro Cantonal	Sin funcionamiento
MP_C_1 4	-78.7727627465	-2.91861263588	Llaver	Taller de carpintería Fabricación de muebles bajo pedido Una cortadora de madera industrial Ubicada a 15 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros
MP_C_1 5	-78.7737355048	-2.91698236258	Llaver	Taller de carpintería dos etapas cortado y acabado Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial Ubicada a 40 metros de la carretera Vivienda más cercana a 4 metros
MP_C_1 6	-78.7854166781	-2.93150687488	Capillapamba	Taller de carpintería Fabricación de muebles Una cortadora de madera industrial





MP_C_1 7	-78.7872135319	-2.93446483588	Zhio	Ubicada en el primer piso de la vivienda a 5 metros de la carretera Dedicado a la venta de muebles no a la fabricación
MP_B_1	-78.7932330448	-2.93831310418	Zhio	Fábrica de bloques para la construcción Una maquina industrial de fabricación de bloques Ubicada a 25 metros de la carretera No existen viviendas cercanas
MP_B_2	-78.7798259524	-2.92756875668	Ucur	Se cambió la actividad productiva de una fábrica de bloques de construcción a un depósito de madera Ubicado a 20 metros de la carretera sin viviendas cercanas
MP_CP_ 1	-78.7766023965	-2.91320562651	Cazhalao	Fabricación de casas de madera, carpintería y depósito de madera. Una cortadora industrial Ubicada a 15 metros de la carretera Vivienda más cercana a 10 metros

Fuente: Autor

