

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación previo a la acreditación del título de Ingeniero Ambiental

**TRABAJO DE TITULACION**

**Título del proyecto**

**DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE  
MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA COMUNIDAD DE GATAZO  
GRANDE CANTÓN COLTA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL**

**Autor**

Félix Marcelo Paguay Martínez

**Tutor**

MsC. Guido Patricio Santillán Lima

**Riobamba – Ecuador**

**2020**

## REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA COMUNIDAD DE GATAZO GRANDE CANTÓN COLTA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL**, presentado por: Félix Marcelo Paguay Martínez.

Dirigido por: Msc. Patricio Santillán

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en de la biblioteca de la facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Patricio Santillán MsC.  
**Tutor del Proyecto**



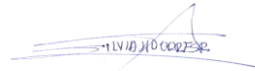
-----  
FIRMA

Ing. Víctor García PhD.  
**Miembro del tribunal**



-----  
FIRMA

Dra. Silvia Torres PhD.  
**Miembro del tribunal**



-----  
FIRMA

Ing. Iván Ríos PhD.  
**Presidente del Tribunal**



-----  
FIRMA

## DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de ingeniero ambiental, con el tema: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA COMUNIDAD DE GATAZO GRANDE CANTÓN COLTA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL”** ha sido elaborado por Félix Marcelo Paguay Martínez, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de tutor, por lo que se encuentran apta para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



---

Ing. Patricio Santillán MsC.  
C.I. 060278077-7

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **FÉLIX MARCELO PAGUAY MARTÍNEZ**, con cédula de identidad No. 092954626-5, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



---

Félix Marcelo Paguay Martínez  
C.I. 092954626-5

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por brindarme la sabiduría y el amor por no dejarme solo en los momentos más tristes y difíciles de mi vida y permitirme llegar a esta parte de mi vida, que fue tan anhelada desde muy pequeño y que mediante la culminación de esta investigación realizo mi sueño de niño de ser un profesional en el cuidado del medio ambiente.

A mis padres Gerardo Paguay y Rosa Martínez quienes me brindaron su apoyo incondicional aun en los momentos más difíciles, de mi vida a la vez también agradezco a la gloriosa Universidad Nacional de Chimborazo en especial a la carrera de Ingeniería Ambiental, a todos los compañeros con quienes compartimos un sin fin de cosas a lo largo de nuestra vida universitaria y los docentes que supieron compartir todos sus conocimientos que nos ayudaron a formar a lo largo de nuestra carrera, especialmente a mi tutor Patricio Santillán quien con su conocimiento y experiencia me supo guiar y brindar todo su conocimiento para culminar con éxito esta investigación.

Agradecer también a todos los habitantes de la comunidad de Gatazo Chico, Gatazo Zambrano y en especial a Gatazo Grande donde se realizó la investigación de campo quienes me brindaron su apoyo y colaboraron para que la investigación se lleve a cabo como dictan las normativas en especial al Lic. Frenando Asqui quien siempre estuvo pendiente desde el inicio y al final de los monitoreos de material particulado en la fase de campo.

Marcelo Paguay

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se la dedico de manera especial a Dios mediante sus bendiciones he podido alcanzar este sueño y ser una buena persona y profesional. A mis padres Gerardo Paguay y Rosa Martínez en sus manos pongo el fruto de mi trabajo, esfuerzo y sacrificio todo valió la pena también a mis hermanos Ángel, Yessenia, Alexander, Oliver, Andrea y Patricio que de alguna manera contribuyeron con su granito de arena para ayudarme a cumplir este sueño, a la vez a todas las personas que siempre estuvieron apoyándome y brindándome sus buenos consejos de seguir y luchar hasta alcanzar el objetivo que son mis primos, amigos y tías, en especial a mi tía Gregoria Ramírez y su familia que hasta el día de hoy siempre me han brindado su apoyo en todos los sentidos y más cuando iniciaba con mis primeros pasos en estudiar la carrera de ingeniería ambiental, por ser esa base fundamental de nunca dejarme solo, siempre los llevare presente en mi corazón . Por todo esto y más solo me resta decir muchas gracias desde el fondo de mi alma.

Gracias Dios, familia y amigos meta cumplida, sueño alcanzado.

Marcelo Paguay

## SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

DAC: Dirección aérea civil

GPS: Sistema de posicionamiento global

MP: Material particulado

MPS: Material particulado sedimentable

MPV: Material sedimentable volátil

NO<sub>2</sub>: Dióxido de nitrógeno

OMS: Organización mundial de la salud

PAS: Polvo atmosférico sedimentable

PM<sub>10</sub>: Material particulado de 10 micras

PM<sub>2.5</sub>: Material particulado de 2.5 micras

PTS: Partículas totales suspendidas diámetro hasta 100 µm

PS: Partículas sedimentables

SIG: Sistemas de información geográfica

SO<sub>2</sub>: Dióxido de azufre

µm: micrómetro o micra

µg/m<sup>3</sup>: microgramos/metro cúbico

mg/cm<sup>2</sup>/mes: miligramos/centímetro cuadrado/mes

## ÍNDICE

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| REVISIÓN DEL TRIBUNAL.....                                                          | i   |
| DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....                                                 | ii  |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                   | iii |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                | iv  |
| DEDICATORIA.....                                                                    | v   |
| SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....                                               | vi  |
| ÍNDICE.....                                                                         | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                             | ix  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                                               | x   |
| RESUMEN .....                                                                       | xi  |
| INTRODUCCIÓN.....                                                                   | 1   |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                                     | 2   |
| JUSTIFICACIÓN.....                                                                  | 3   |
| OBJETIVOS.....                                                                      | 4   |
| 1. Objetivo General.....                                                            | 4   |
| 2. Objetivos Específicos .....                                                      | 4   |
| ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMATICA .....                                     | 5   |
| 1. Contaminación del aire.....                                                      | 5   |
| 2. Características de material particulado .....                                    | 5   |
| 2.1. Clasificación de material particulado.....                                     | 6   |
| 2.2. Diámetros del Material particulado.....                                        | 7   |
| 2.3. Composición mineralógica y química del PM .....                                | 9   |
| 2.4. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes ..... | 10  |
| 3. Límites permisibles.....                                                         | 10  |
| 3.1. Norma de Calidad de Aire por la OMS.....                                       | 10  |
| 3.2. Norma de Emisión de Contaminantes.....                                         | 11  |
| 4. Efectos del Material Particulado en la Salud.....                                | 11  |
| 5. Efectos del Material Particulado en el Ambiente .....                            | 12  |
| METODOLOGÍA.....                                                                    | 13  |
| 1. Fase Metodológica.....                                                           | 13  |



|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. Área de estudio.....                                                                                                                                                                     | 14 |
| 3. Visita de campo – Establecimiento puntos de monitoreo.....                                                                                                                               | 15 |
| 4. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS.....                                                                                                                        | 16 |
| 5. Monitoreo de PMS El monitoreo de PMS.....                                                                                                                                                | 16 |
| 6. Análisis estadístico y modelo Geoespacial.....                                                                                                                                           | 17 |
| 6.1. Tratamiento Estadístico.....                                                                                                                                                           | 17 |
| 6.2. Análisis de varianza ANOVA.....                                                                                                                                                        | 17 |
| 6.3. Análisis del coeficiente de correlación.....                                                                                                                                           | 17 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                                                                                                | 19 |
| 1. Muestreo del material particulado.....                                                                                                                                                   | 19 |
| 1.1. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 2.5µg/cm <sup>3</sup> .....                                                                                                                  | 19 |
| 1.2. Análisis de correlación MPV 2.5.....                                                                                                                                                   | 21 |
| 1.3. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 10 µg/cm <sup>3</sup> .....                                                                                                                  | 22 |
| 1.4. Análisis de correlación MPV 10 µg/cm <sup>3</sup> .....                                                                                                                                | 23 |
| 1.5. Concentración y análisis descriptivo del PMS.....                                                                                                                                      | 25 |
| 1.6. Análisis global de la concentración de PMV en las comunidades pertenecientes de GATAZO, de la parroquia Cajabamba del cantón Colta, en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA..... | 27 |
| 2. Dinámica geoespacial de la concentración y dispersión de contaminantes de PM ...                                                                                                         | 28 |
| CONCLUSIONES.....                                                                                                                                                                           | 32 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                                                                                                       | 33 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                                                                                          | 34 |
| ANEXOS .....                                                                                                                                                                                | 37 |
| Anexo 1 Análisis de MP 10 µg/m <sup>3</sup> .....                                                                                                                                           | 37 |
| Anexo 2. Registro Fotográfico.....                                                                                                                                                          | 38 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Distribución de las partículas según su diámetro. ....                                                      | 8  |
| Figura 2. Distribución de las partículas en la atmosfera donde se muestran las partículas finas y gruesas .....       | 9  |
| Figura 3. Diagrama de la fase metodológica. ....                                                                      | 13 |
| Figura 4. Mapa del área de estudio (Área de Influencia). ....                                                         | 14 |
| Figura 5. Mapa del área de estudio (Área de Influencia). ....                                                         | 19 |
| Figura 6. Gráfica de normalidad de MPV $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$ A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30.....                 | 20 |
| Figura 7. Gráfica de normalidad de MPV $10\mu\text{g}/\text{cm}^3$ A: 07:30-10:00 B: 13:00-15:30.....                 | 23 |
| Figura 8. Comparación MPS frente a los LP OMS y TULSMA.....                                                           | 26 |
| Figura 9. Comparación MPV $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los LP OMS y TULSMA ..... | 28 |
| Figura 10. Comparación MPS Comunidades Gatazo.....                                                                    | 29 |
| Figura 11. Comparación MPV $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ Comunidades Gatazo .....                                        | 30 |
| Figura 12. Comparación MPV $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ Comunidades Gatazo .....                                       | 31 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Puntos de monitoreo sector Gatazo, material particulado. ....                          | 15 |
| Tabla 2. Promedio PM 2.5µg/cm <sup>3</sup> . ....                                               | 20 |
| Tabla 3. Matriz de correlación PM 2.5µg/cm <sup>3</sup> .....                                   | 21 |
| Tabla 4. Promedio PM 10 µg/cm <sup>3</sup> . ....                                               | 22 |
| Tabla 5. Promedio PM 10 µg/cm <sup>3</sup> . ....                                               | 24 |
| Tabla 6. Concentración PMS en los puntos de monitoreo. ....                                     | 25 |
| Tabla 7. LP de MPS en los puntos de monitoreo. ....                                             | 26 |
| Tabla 8. Concentración de PM2,5 de las comunidades Gatazo, con los LMP de la OMS y TULSMA. .... | 27 |

## RESUMEN

Las comunidades de Gatazo Grande, Chico y Zambrano perteneciente al Cantón Colta, Provincia de Chimborazo, son caracterizadas por sus actividades agrícolas, tienen una zona de influencia directa por actividades primarias e industriales. En este contexto la fuente de emisión de MP es una gran problemática, ya que no hay un monitoreo que permita cuantificar los efectos de emisiones de material particulado (PM).

La investigación permitió determinar la concentración de PM ( $10\mu\text{m}$  y  $2.5\mu\text{m}$ ); mediante el uso del equipo Dust Track II; estimando los valores de los 14 puntos de monitoreo. Se tomaron muestras en los diferentes puntos de monitoreo, de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, en dos horas 07:30-10:00 y 13:00 – 15:30.

Determinando una concentración de PM del punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de  $0,5072 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de  $1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ; la comparación de la concentración del PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> con respecto a la OMS y el TUSLMA, concluye que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS  $25 \mu\text{g/m}^3$ , pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia.

El modelo de dispersión geoespacial, determinó un valor de precisión adecuado para poder elaborar los mapas de MPS y MPV, estableciendo una estrecha relación de la concentración con los factores climáticos y topográficos, de esta manera se puede realizar una aproximación a los efectos que tienen sobre la salud la constante emisión por parte de la actividad industrial, para tomar medidas adecuadas frente a la elaboración de planes de contingencia en las comunidades pertenecientes a Gatazo

**Palabras Clave:** Material particulado, fuentes de emisión, actividades industriales, actividad industrial.

## ABSTRACT

The communities of Gatazo Grande, Chico, and Zambrano in the Colta Canton, Chimborazo Province, characterized by their agricultural activities and have a zone of direct influence on primary and industrial activities. In this context, the source of PM emissions is a great problem, since there is no monitoring that allows for the quantification of the effects of particulate matter (PM) emissions. The research allowed determining the concentration of PM (10 $\mu$ m and 2.5 $\mu$ m); by using the Dust Track II equipment; estimating the values of the 14 monitoring points. Samples taken at the different monitoring points, thus filtering the data obtained in a period of 10 days of monitoring, alternating in a period of four days of interval, in two hours 07:30-10:00 and 13:00 - 15:30. Determining a PM concentration of the MP7 monitoring point, spatially close to the emission source, with a value of 0.5072 mg/cm<sup>2</sup>/month, exceeds the LP, but does not exceed the LP proposed by the TULSMA of 1 mg/cm<sup>2</sup>/month; the comparison of the concentration of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> with respect to the WHO and TUSLMA, concludes that all the values obtained exceed the WHO's LMP 25  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, but do not exceed the TULSMA's LPM, nevertheless showing that the concentration levels of PM are high due to the large amounts of material emanating from industrial activities, which transport the atmospheric pollutants over long distances.

The geospatial dispersion model determined an adequate precision value to be able to elaborate the MPS and MPV maps, establishing a close relation of the concentration with the climatic and topographic factors. In this way, it is possible to make an approximation to the effects that the constant emission by the industrial activity has on health, in order to take adequate measures against the elaboration of contingency plans in the communities belonging to Gatazo

**Keywords:** Particulate matter, emission sources, industrial activities, industrial activity

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Maritza Chávez", is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Reviewed by: Chávez, Maritza

Language Center Teacher

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, se estima que el nivel de gravedad de los desórdenes en la salud está directamente relacionado con la concentración de partículas en el aire (Venegas & Martin, n.d.).

Dentro de los diferentes contaminantes atmosféricos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) manifiesta que el material particulado (PM) se presenta con niveles críticos de concentración con mayor frecuencia, lo cual afecta la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades, esto debido al aumento en la densidad de la población y el progreso de las industrias en general (Gaviria, Muñoz & Gonzáles, 2012). La contaminación del aire genera un riesgo medioambiental que afecta a la salud y se considera como el causante de muchas enfermedades respiratorias y cardiovasculares a nivel mundial, incluso el cáncer (OMS, 2018).

El enfoque de este tipo de investigaciones y la contaminación del aire por material particulado (MP), misma que ha alcanzado niveles muy altos en muchos lugares, sobrepasando los límites permisibles, esto como resultado que las políticas ambientales no han seguido el ritmo de crecimiento, la cual representa una grave amenaza tanto para la salud humana y el ambiente, daño que es causado por actividades naturales y antropogénicas (Ataz & Mera Morales, 2004).

El objetivo de la investigación es determinar cuál es la concentración de material particulado volátil y sedimentable en la Comunidad de Gatazo Grande, perteneciente al Cantón Colta, Provincia de Chimborazo, mediante el uso del equipo Dust Track II, analizar la concentración de material particulado volátil. Para la recopilación de datos se establecerán catorce estaciones de monitoreo ubicados dentro de la comunidad, la misma que nos va permitir conocer el grado de contaminación del aire que afecta a la población, plantas y animales de esta área, producido por la incidencia industrial y artesanal que están en las cercanías de la comunidad, y a su vez también dar un punto de partida a otras investigaciones debido que, en la actualidad no se registra ningún estudio de impacto ambiental en la comunidad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El ámbito de acumulación de la contaminación atmosférica, ha generado una gran problemática, considerando en la afección hacia los seres vivos a nivel global, el problema que ha generado este incremento de materiales que pueden ser considerados contaminantes en las zonas rurales e industriales, han generado creciente afecciones crónicas, debido a la exposición a este tipo de materiales, se ha logrado cuantificar la causa de muertes que bordea los 4,2 millones en el mundo esto debido a que, en muchas ciudades y zonas rurales se han registrado episodios agudos relevantes a la contaminación del aire, por lo que la exposición a estas partículas atmosféricas causa efectos a nivel global (OMS, 2018).

El registro de material particulado proveniente de fuentes naturales y en gran parte de actividades antropogénicas, se van acumulando en el entorno aire a nivel urbano y rural, siendo así, que una mayor concentración de elementos nocivos presentes en la atmósfera, constituye un problema, principalmente para la salud humana y consiguiente el ecosistema, ya que estas partículas no se pueden identificar a simple vista (Cardona, 2016)

El constante desarrollo rural, demuestra que la población sigue en aumento con un crecimiento de actividades productivas, principalmente la agricultura razón por la cual existe la necesidad de implementar un estudio de impacto ambiental por material particulado dentro de la comunidad, teniendo en conocimiento que no existe una investigación de este tipo que afecta a una gran parte dentro del área de estudio, siendo esta una de las razones principales por la que se plantea el presente estudio (Suárez & Molina, 2014).

La escasa información y datos generados a partir de la contaminación de diferentes tipos de emisiones agudiza el problema de contaminación en la Comunidad de Gatazo Grande, razón por la cual existe la necesidad de estudiar y determinar el grado de contaminación del aire por material particulado sedimentable y volátil, tomando en cuenta la incidencia industrial que emanan material particulado de acuerdo a la dirección y velocidad del viento, llevando a cabo un proceso de medición, identificación, análisis y control del MP.

## **JUSTIFICACIÓN.**

El entorno espacial de la comunidad Gatazo Grande pertenece a la parroquia Cajabamba, del cantón Colta, ubicado en un depósito glacial que conforma un gran valle, dentro de la cual se establecieron pobladores Kichwa-hablantes, dedicados principalmente a las actividades agrícolas, tienen una zona de influencia directa por actividades primarias e industriales (Chuto, 2017).

En este contexto la fuente de emisión de MP es una gran problemática, la escasa información proporcionada en este sector que pueda contemplar un plan de mitigación de los efectos del MP; en la actualidad la fusión de la UCEM, creó un enfoque de modernización, que logró un incremento en la capacidad de abastecimiento de material de construcción (cemento) hacia los diferentes mercados nacionales e internacionales, en una producción actual de 330 mil toneladas anuales, con una expectativa de producción de un millón de toneladas a final del año (Álvarez, Zurita, & Gallegos, 2019).

La característica de valle ondulado, la distribución especial del territorio, junto con los efectos de climáticos como la dirección y la velocidad del viento, ha contribuido para que la dispersión del MP, se extienda en este lugar, creando un efecto adverso sobre la salud de los pobladores. La presente investigación plantea cuantificar la concentración del PM presente en la atmósfera durante un mes, teniendo en cuenta su comportamiento en el espacio y tiempo, lo que permite comprobar la calidad del aire en el área de estudio, para estimar el grado de exposición a este tipo de partículas.



## **OBJETIVOS**

### **1. Objetivo General**

Determinar y caracterizar concentraciones de material particulado sedimentable en la comunidad de Gatazo Grande cantón Colta por incidencia industrial.

### **2. Objetivos Específicos**

- Realizar un muestreo de material particulado sedimentable, utilizando el método pasivo en la comunidad de Gatazo Grande cantón Colta.
- Caracterizar el material particulado sedimentable con la ayuda del equipo de medición Dust Trak II in situ dentro del área de estudio.
- Elaborar un mapa de concentración y dispersión del material particulado sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA

### 1. Contaminación del aire

Se define a la contaminación como: la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente (Ecuatoriana & Del, 2011).

Los contaminantes del aire provienen de varias fuentes y cada una tienen características diferentes en dependencia de su composición, fuente y condiciones bajo las cuáles fueron producidas, es así, que los gases más comunes son: óxidos de sulfuro (principalmente dióxido de sulfuro ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno como el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), hidrocarburos reactivos (frecuentemente denominados compuestos orgánicos volátiles) y el monóxido de carbono (Schraufnagel, 2019)

Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en fuentes fijas y fuentes móviles, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa. La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores (Manahan, 2012).

### 2. Características de material particulado

Material particulado (MP), es un término utilizado para describir pequeños materiales sólidos o líquidos que pueden variar considerablemente de tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas (Erazo, 2013).

Las diferencias en su densidad son determinadas por procesos de aglomeración; las partículas producidas por aglomeración frecuentemente tienen menor densidad. (Adame, 2010)

Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material sedimentable (partículas  $> 30 \mu\text{g}$ ) y partículas suspendidas que generalmente se dividen en PM10 y PM2.5; que son partículas más pequeñas que 10 y 2.5 micrómetros de diámetro respectivamente ( $\mu\text{m} = \text{micrómetro}$ ) (Díaz, 2015).

El PM con diámetro entre  $10 \mu\text{m}$  (PM10) y  $2.5 \mu\text{m}$  (PM2.5) pueden ser emitidas por numerosas fuentes (plantas de energía, fábricas de cemento, fábricas de diverso tipo, volcanes, incendios forestales y pastizales, atomizadores o aerosoles), fuentes no puntuales (camiones, automóviles, actividades agrícolas, caminos de terracería, ranchos ganaderos) y sitios de construcción (Flores, 2011).

## 2.1. Clasificación de material particulado

El PM sólido se clasifica con relación a su proceso de formación y el diámetro de partícula presente en la atmósfera (Escudero, 2017).

El MP según su fuente, varía en composición, toxicidad y tamaño, pudiendo clasificarse en:

- **Partículas gruesas:** Principalmente derivadas de la suspensión de polvo, suelo u otros materiales provenientes de caminos, de la agricultura, de minería, de tempestades, de volcanes, entre otros.
- **Partículas finas:** Que se derivan de la emisión de procesos de combustión de vehículos (gasolina o diésel), la quema de maderas, la quema de carbón y procesos industriales.
- **Partículas ultra finas:** Que son definidas por tener un diámetro aerodinámico menor a  $0,1 \mu\text{m}$ , proceden de la combustión como reacciones fotoquímicas atmosféricas. Forman un agregado de PM2.5, porque su vida es muy corta (Salinas, 2012).

Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material particulado sedimentable (partículas  $> 30 \mu\text{g}$ ) y material particulado volátil que generalmente se dividen en PM10 y PM2.5, que son partículas más pequeñas de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro respectivamente ( $\mu\text{m} = 0.0001 \text{ mm}$ ) (Díaz, 2015).

Aragón (2011) menciona que las partículas suspendidas se clasifican en base a su diámetro, en:

- **PTS:** Partículas totales suspendidas diámetro hasta 100  $\mu\text{m}$ .
- **PM10:** Partículas respirables con diámetro aerodinámico menor de 10  $\mu\text{m}$ .
- **PM2.5:** Partículas finas con diámetro aerodinámico menor de 2.5  $\mu\text{m}$ .
- **PM1:** Partículas ultra fina con diámetro aerodinámico menor de 1  $\mu\text{m}$ .
- Polvo sedimentable (PAS) o Polvo Sedimentable PS

El material particulado sedimentable (MPS) está constituido por partículas contaminantes sólidas, líquida y gaseosa de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ; tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de la gravedad, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en diferentes superficies (edificios, áreas verdes, 8 avenidas y calles asfaltadas o no asfaltadas), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas; de este grupo de partículas, las más finas son las más peligrosas ya que tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio (Jiménez, 2014).

## **2.2. Diámetros del Material particulado**

Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se los clasifica en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula (Arciniégas, 2012).

Por lo general se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas”, que están relacionados con el mecanismo de formación de las partículas: nucleación, Aitken, acumulación y moda gruesa (Arciniégas, 2012).

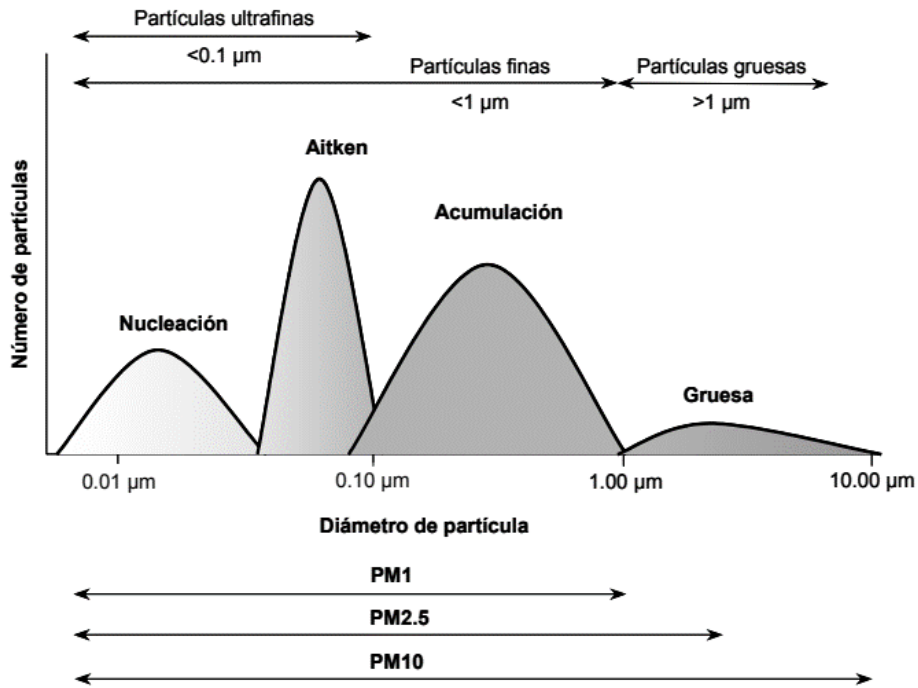


Figura 1. Distribución de las partículas según su diámetro.

Fuente: (Arciniégas, 2012)

Se consideran de origen primario aquellas partículas que son emitidas directamente a la atmosfera y secundarias aquellas que se dan de la formación de reacciones químicas ya sea entre gases a través de condensación o entre un gas y una partícula a través de la adsorción y/o coagulación (Figura 2) (Cáceres, 2015)

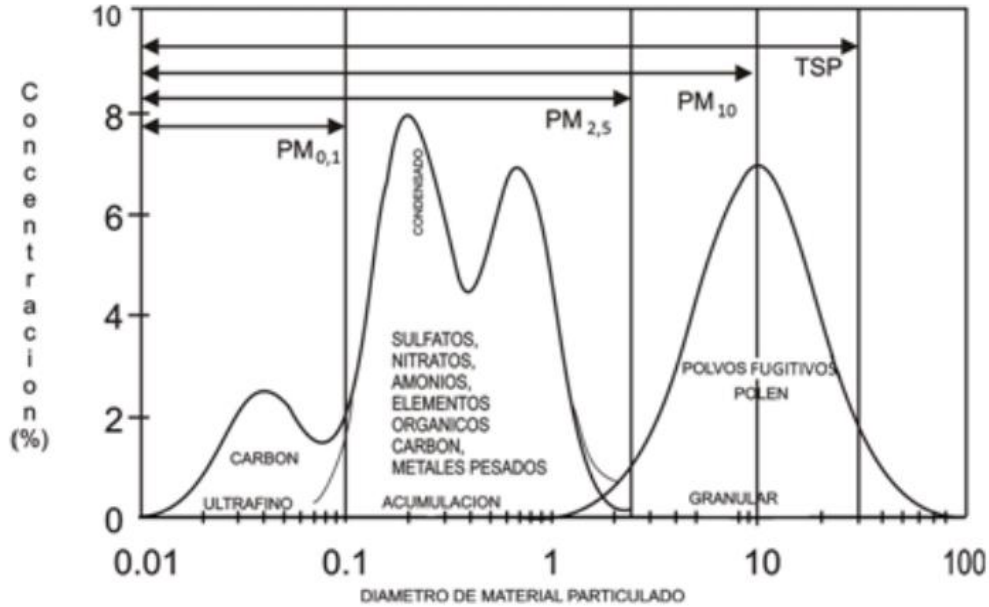


Figura 2. Distribución de las partículas en la atmósfera donde se muestran las partículas finas y gruesas

Fuente: (Cáceres, 2015)

### 2.3. Composición mineralógica y química del PM

El PM puede considerarse como un sistema complejo desde el punto de vista químico y mineralógico, que dependiendo de las zonas de muestro (rurales, urbanas, industriales), la mineralogía y química global de las partículas es muy variada (González, 2012)., “pero también las condiciones de dispersión, distancia a las fuentes, topografía y química atmosférica juega un papel importante en la formación de las partículas secundarias” (Dèdele & Miškinytė, 2018).

Las actividades industriales también juegan un papel importante, ya que, al aportar compuestos complejos derivados de sus actividades, aportan concentraciones anómalas a la atmósfera desde un punto de vista geoquímico (Regalado, 2015).

## 2.4. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes

Los factores meteorológicos son:

- **Velocidad del viento:** Desempeña un papel muy importante, el viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante (Tyson & Scheper, 2015).
- **Dirección del viento:** La dispersión de los contaminantes está influenciada por la dirección del viento, cuando es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores (Turner & Schulze, 2010).
- **Temperatura:** Si la temperatura de la emisión es mayor que la del medio se dispersa con más facilidad (Seinfeld, 2014).
- **Las precipitaciones:** Producen un efecto de lavado, que favorecen la dispersión y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales (Tyson & Scheper, 2015).

## 3. Límites permisibles.

Los estándares de calidad de aire definen niveles de contaminantes que no deben ser excedidos para garantizar la protección de la salud pública. Estos valores generalmente son plasmados en una normativa que se detalla la información relevante no solo los límites permisibles sino también frecuencias de muestreo, metodologías y sitios de muestreo, etc. La OMS fue la pionera en definir guías sobre la calidad de aire en varios países en base a dichos estándares han establecido su propia normativa (Corral, 2017)

### 3.1. Norma de Calidad de Aire por la OMS

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios (OPS, 2017).

Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a: Partículas (PM), Ozono ( $O_3$ ), Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y Dióxido de azufre ( $SO_2$ ), en todas las regiones de la OMS (OMS, 2016)

### **3.2. Norma de Emisión de Contaminantes**

Es el valor que indica la descarga máxima permisible de contaminantes hacia el aire, el Ministerio del Ambiente se basa estos valores mediante el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) Libro VI Anexo 4 (MAE, 2012)

Para efectos de esta norma se establece como contaminantes comunes del aire los siguientes:

- Partículas Sedimentables
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones  
Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrones
- Óxidos de Nitrógeno:  $NO$  y  $NO_2$
- Dióxido de Azufre ( $SO_2$ )
- Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono (TULSMA, 2012)

### **4. Efectos del Material Particulado en la Salud**

La contaminación del aire es un grave problema para la salud humana pues en el mundo 1.4 de 6 millones de muertes anuales son atribuibles a dicha contaminación. Muchos estudios muestran el daño que la contaminación provoca en la salud humana, en la fauna y en la vegetación, existiendo especial interés en la investigación de los contaminantes orgánicos atmosféricos, debido a que altas concentraciones en PM de estas sustancias poseen propiedades carcinogénicas o mutagénicas, pudiendo ocasionar trastornos a la salud de la población. Un factor importante sobre el efecto en la salud es el tamaño de las partículas debido al grado de penetración y permanencia que ellas tienen en el sistema respiratorio humano (Saldini & Medina, 2017)

Algunos estudios realizados en ciudades industrializadas han mostrado que el material particulado contiene concentraciones considerables de elementos como  $C$ ,  $S$ ,  $V$ ,  $Ni$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,



*Fe, Cu, Cr* y en menores proporciones de *Cd, Sn, Ce, Mo, W, Zr, Ca, As, Sb, Mn, Hg, Bi, Ti, Sr, Se* y algunos elementos de las tierras raras (*Eu, La, Y y Tb*) (Duque, 2017).

Los contaminantes atmosféricos riesgosos para la salud humana son el material particulado inhalable (PM10; PM2.5 y PM0.1) y compuestos químicos gaseosos tales como dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y monóxido de carbono. (Oyarzún, 2010)

## **5. Efectos del Material Particulado en el Ambiente**

El efecto del material particulado en el medio ambiente y viceversa depende del comportamiento de las partículas en la atmósfera, lo cual, a su vez, está influenciado por las variables meteorológicas y fuentes de emisión.

El material particulado puede influenciar el clima entre ellos se encuentra El carbono negro (BC) u hollín, el cual en la atmosfera absorbe la radiación de onda corta (luz visible), interviene en la transferencia de energía y obstaculiza la llegada de la luz del sol al suelo. Estos efectos disminuyen la visibilidad y alteran el balance o equilibrio de energía en la parte superior de la tropósfera, lo que se denomina forzamiento radiactivo. Como consecuencia, el BC ha sido considerado como el segundo o tercer agente de calentamiento individual, después del dióxido 38 de carbono y el metano (Castillo, 2015)

# METODOLOGÍA

## 1. Fase Metodológica

La metodología se basa en dos fases, considerando la fase de campo y otra de laboratorio, logrando establecer un modelo de dispersión del material particulado ver Figura 3.

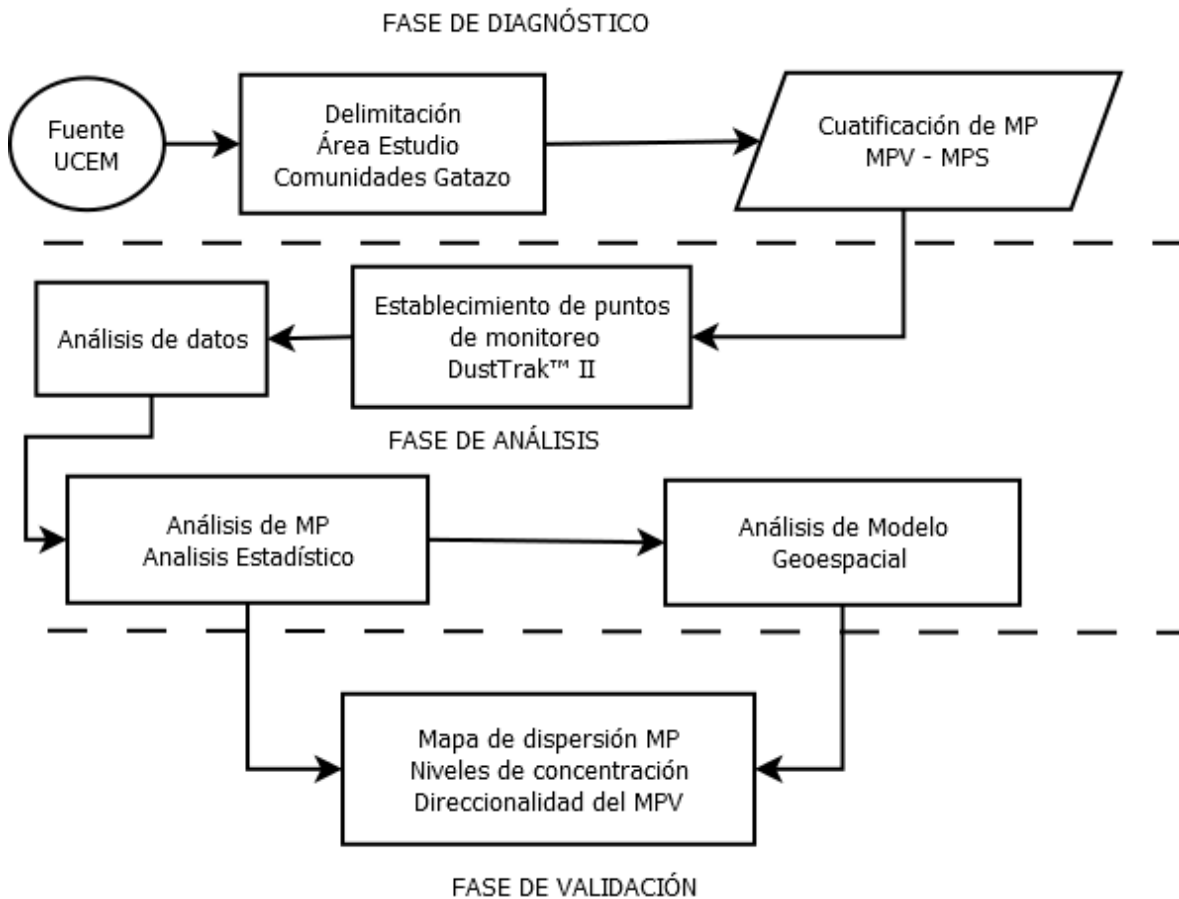


Figura 3. Diagrama de la fase metodológica.

Elaborado por: El Autor.

El equipo para el monitoreo *in-situ*, equipos sedimentadores para material particulado sedimentable (MPS) y el uso del equipo Dust Track II para (MPV) las cuales deben ser colocados en varios puntos de muestreo, (catorce en específico) para la cual se debe tomar la ubicación GPS, posteriormente representarlos mediante un mapa de concentración y dispersión de MPS Y MPV; tomando en cuenta la dirección y velocidad del viento.

## 2. Área de estudio.

El área de estudio comprende la comunidad Gatazo Grande, aunque además tiene influencia en las comunidades de Gatazo Chico y Gatazo Zambrano, cuyas características biofísicas corresponden a una pendiente que varía entre 0-20% que corresponden a zonas casi planas y ligeramente onduladas, el mapa de taxonomía categoriza a la zona con la mayor parte de suelos INCEPTISOLES y ENTISOLES, de textura arena franca, existiendo también la presencia de afloramiento rocoso y roca intrusiva (cangahua), el rango de precipitación varía entre 500-750 mm de lluvia anual, considerado como un tipo de clima pluviestacional, la temperatura varía en un rango de dos rangos 10-12 en la zona occidental de área de estudio, mientras que la mayor proporción establece una temperatura media de 12-14 °C (Figura 4) (IGM, 2014).

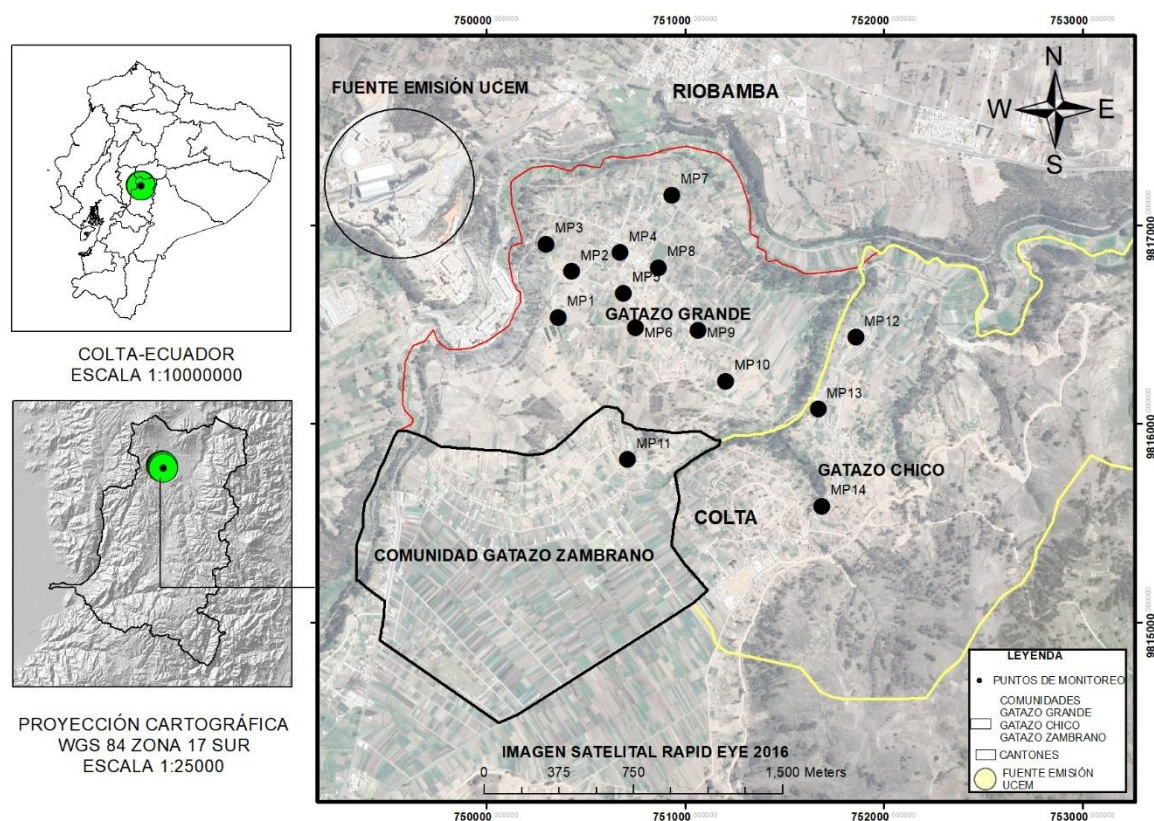


Figura 4. Mapa del área de estudio (Área de Influencia).  
Elaborado por: El Autor.

### 3. Visita de campo – Establecimiento puntos de monitoreo.

El proyecto macro ejecutado por la Universidad Nacional de Chimborazo establece un monitoreo de la periferia en la zona de influencia de la zona industrial de la UCEM, donde ya se realizaron estudios anteriores en la zona nororiental de influencia comprendido en las comunidades de Calpi y las comunidades de San Juan y la cabecera parroquia de Calpi (Andi & Vega, 2019), por esta manera se contempló realizar el estudio en la zona sur occidental de influencia a las comunidades Gatazo Grande, Chico y Zambrano, estableciendo 14 puntos de monitoreo.

Tabla 1. *Puntos de monitoreo sector Gatazo, material particulado.*

| Puntos de Monitoreo | Coordenadas |         | Código | Sector          |
|---------------------|-------------|---------|--------|-----------------|
|                     | ESTE        | NORTE   |        |                 |
| 1                   | 750360      | 9816536 | MP1    | Gatazo Grande   |
| 2                   | 750428      | 9816768 | MP2    | Gatazo Grande   |
| 3                   | 750300      | 9816906 | MP3    | Gatazo Grande   |
| 4                   | 750673      | 9816863 | MP4    | Gatazo Grande   |
| 5                   | 750689      | 9816659 | MP5    | Gatazo Grande   |
| 6                   | 750750      | 9816484 | MP6    | Gatazo Grande   |
| 7                   | 750933      | 9817152 | MP7    | Gatazo Grande   |
| 8                   | 750866      | 9816787 | MP8    | Gatazo Grande   |
| 9                   | 751065      | 9816471 | MP9    | Gatazo Grande   |
| 10                  | 751204      | 9816214 | MP10   | Gatazo Grande   |
| 11                  | 750710      | 9815821 | MP11   | Gatazo Zambrano |
| 12                  | 751859      | 9816437 | MP12   | Gatazo Chico    |
| 13                  | 751670      | 9816074 | MP13   | Gatazo Chico    |
| 14                  | 751689      | 9815585 | MP14   | Gatazo Chico    |

Elaborado por: El autor

El registro se lo realizó con el GPS 60 CSX de alta precisión, GARMIN, estableciendo los distintos puntos de muestreo de los equipos de MPS y MPV. Posteriormente estos datos geográficos servirán para establecer criterios para generar un modelo geoespacial de dispersión del PM, mediante el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

#### **4. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS**

La implementación de cada equipo de muestreo debe tener características como la libre exposición de obstáculos que se encuentren cerca de los equipos, en el caso de la fuente de emisión también debe tener las mismas características, de esta manera se logrará recolectar las muestras del material que cae por efecto de la gravedad (Marcos, 2012).

La zona de estudio donde se implementaron los 14 equipos de muestreo se consideraron efectos como la vulnerabilidad a la afectación de las personas, centros poblados y zonas de aglomeración y concurrencia masiva, ejemplo: escuelas, centro de salud, parque central, industrias, etc., esto nos dará una estimación muy cercana a la realidad de las comunidades de la zona de influencia de las industrias (Arciniégas, 2012).

Como segunda fase colocamos papel filtro en una caja Petri, por lo que, considerando su peso inicial y el peso final luego de la recolección de PMS, además el área del papel. La caja Petri debe permanecer durante un mes en el que duran las mediciones, tomando como consideración zonas de mayor recepción posible de PMS (Santillán, 2016).

#### **5. Monitoreo de PMS**

El monitoreo se llevará a cabo durante un mes. Según el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, hace referencia a que, para la obtención de una muestra representativa, el muestreo se debe llevar a cabo durante 30 días de forma continua, siendo así que la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por treinta días ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ) (MAE, 2017). Una vez obtenido el muestreo respectivo, los papeles filtro serán puestos en el interior de la estufa a  $50^\circ\text{C}$  durante 24 horas, necesario para eliminar la presencia de humedad adquirido en el proceso de recolección de la muestra, posteriormente el papel filtro será pesado en la balanza analítica SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0,0001 g. Finalmente se procederá a calcular el polvo atmosférico sedimentable (PAS) mediante diferencias de peso entre la final e inicial, y dividiendo para el área del papel filtro donde se acumula la muestra, obteniendo el resultado en unidades de  $\text{mg/cm}^2/\text{mes}$  según el procedimiento de (Marcos & Valderrama, 2012).

## 6. Análisis estadístico y modelo Geoespacial

### 6.1. Tratamiento Estadístico

Una vez que se obtiene la información, se realizaron análisis estadísticos de la cuantificación de niveles de concentración en software estadístico para datos de MPS - MPV (PM 2.5 y PM10). De esta manera se realiza una comparación de los límites superior e inferior, estableciendo valores máximos permisibles para polvos atmosféricos sedimentables (PAS), según la organización mundial de la salud (OMS) y los límites máximos permisibles de la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULSMA).

### 6.2. Análisis de varianza ANOVA.

El análisis de la varianza cuyas siglas significan (Analysis Of Variance), en la terminología inglesa es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas (Piana, 2019).

### 6.3. Análisis del coeficiente de correlación.

En el análisis estadístico, el coeficiente de correlación de Pearson se define como una medida lineal entre dos variables aleatorias numéricas “cuantitativas”. La diferencia de los análisis de covarianza; la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables. Podemos definir el coeficiente de correlación de Pearson como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de los puntos de monitoreo y la concentración de PM (Ochoa-Martínez, 219).

$$P(x,y) = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{(E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] \sqrt{2})}{\sigma_X \sigma_Y}$$

(Ec. 1)

Donde:

$\sigma_{XY}$ : es la covarianza de (X, Y).

$\sigma_X$ : es la desviación estándar de la variable X

$\sigma_Y$ : es la desviación estándar de la variable Y

El valor del índice de correlación varía en el intervalo  $[-1,1]$ , indicando el signo el sentido de la relación:

Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.

Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.

Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Para el análisis geoestadístico, se obtendrán datos de velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio como son la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), DAC (Dirección de Aviación Civil) y la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo), de este modo se determinara la dispersión de MP influido, con el método de interpolación KRIGING la cual se desarrolla con un software de sistemas de información geográfica (SIG) (Lara, 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Muestreo del material particulado sedimentable en la comunidad Gatazo Grande.

Establecidos los objetivos se procede a realizar el análisis de los datos, del material particulado sedimentable PM10 y PM2.5; estimando los valores de los puntos de monitoreo (Figura 2).

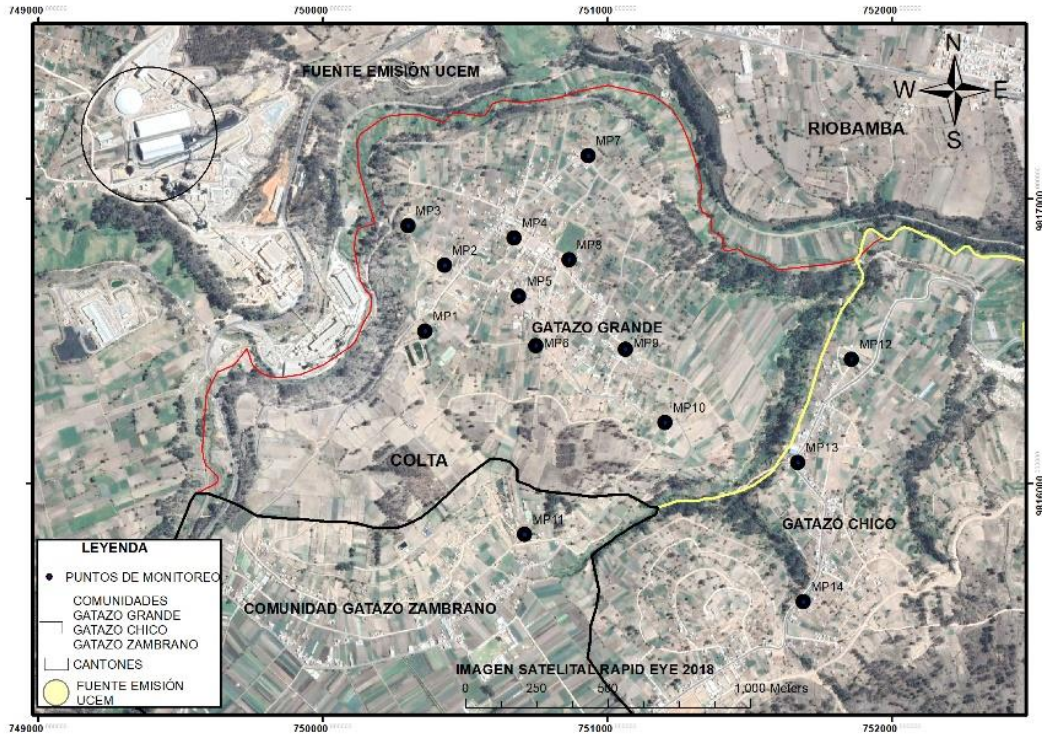


Figura 5. Mapa del área de estudio (Área de Influencia).  
Elaborado por: El Autor.

#### 1.1. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

Se estableció una tabla resumen con los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos en dos horas 07:30-10:00 y 13:00 – 15:30 (Tabla 2 A-B).



Tabla 2. Promedio PM 2.5µg/cm<sup>3</sup>.

| Promedio MP 2.5     |             |       |             |        |
|---------------------|-------------|-------|-------------|--------|
| Puntos de Monitoreo | A           |       | B           |        |
|                     | 07:30-10:00 |       | 13:00-15:30 |        |
| MPV 01              | ▼           | 0.032 | ▼           | 0.0317 |
| MPV 02              | ▬           | 0.033 | ▼           | 0.0318 |
| MPV 03              | ▼           | 0.031 | ▼           | 0.0316 |
| MPV 04              | ▬           | 0.033 | ▼           | 0.0319 |
| MPV 05              | ▬           | 0.034 | ▬           | 0.0336 |
| MPV 06              | ▼           | 0.031 | ▼           | 0.0319 |
| MPV 07              | ▬           | 0.032 | ▼           | 0.0304 |
| MPV 08              | ▲           | 0.035 | ▲           | 0.0338 |
| MPV 09              | ▲           | 0.035 | ▲           | 0.0341 |
| MPV 10              | ▼           | 0.032 | ▬           | 0.0321 |
| MPV 11              | ▬           | 0.032 | ▼           | 0.0316 |
| MPV 12              | ▬           | 0.032 | ▬           | 0.0328 |
| MPV 13              | ▬           | 0.034 | ▬           | 0.033  |
| MPV 14              | ▬           | 0.033 | ▲           | 0.0345 |

Puntos de monitoreo MPV 2.5µg/cm<sup>3</sup> Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).  
Elaborado por: El autor

La Figura 6-A representa a el promedio de material particulado de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0328, la desviación estándar con un valor de 0.0012, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.004, un valor mínimo de 0.0312 y un máximo de 0.0352.

Los valores analizados en las horas de la tarde (Figura 6-B) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0325, la mediana con 0.032, la desviación estándar posee un valor de 0.0011 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0041, su valor mínimo es de 0.0304 y un máximo de 0.0345.

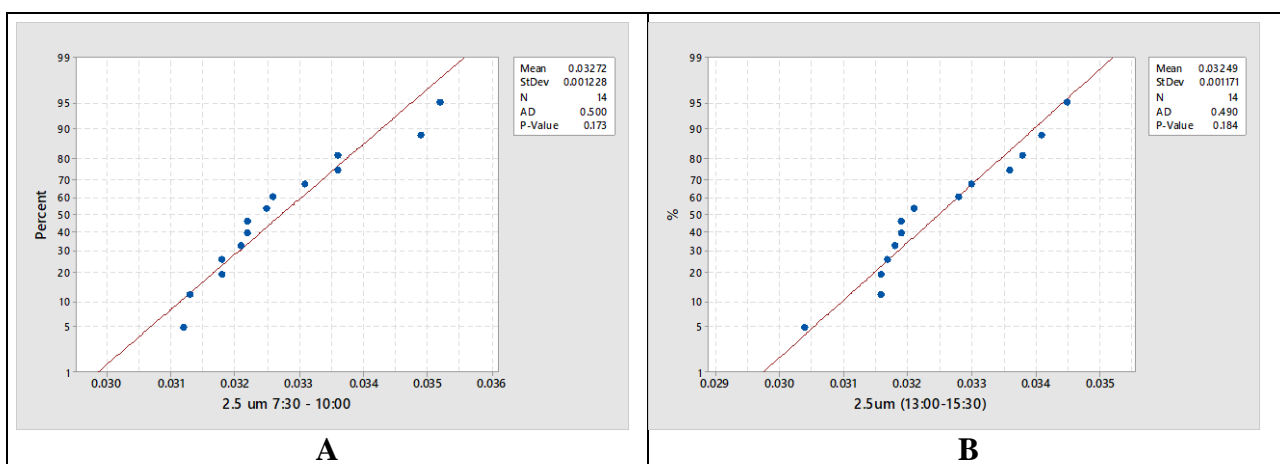


Figura 6. Gráfica de normalidad de MPV 2.5µg/cm<sup>3</sup> Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).  
Elaborado por: El Autor.

## 1.2. Análisis de correlación MPV 2.5.

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas en las que no existe una barrera física de la principal fuente, Mientras que los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas (Tabla 3-A).

Tabla 3. Matriz de correlación PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$

|        | MPV 01 | MPV 02 | MPV 03 | MPV 04 | MPV 05 | MPV 06 | MPV 07 | MPV 08 | MPV 09 | MPV 10 | MPV 11 | MPV 12 | MPV 13 | MPV 14 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MPV 01 | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 02 | 0.56   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 03 | 0.70   | 0.30   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 04 | 0.94   | 0.62   | 0.69   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 05 | 0.38   | -0.34  | 0.71   | 0.34   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 06 | 0.84   | 0.65   | 0.80   | 0.90   | 0.42   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 07 | 0.92   | 0.72   | 0.71   | 0.95   | 0.28   | 0.94   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 08 | 0.25   | 0.58   | 0.23   | 0.19   | -0.17  | 0.40   | 0.47   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |
| MPV 09 | 0.59   | 0.06   | 0.24   | 0.65   | 0.25   | 0.36   | 0.41   | -0.56  | 1.00   |        |        |        |        |        |
| MPV 10 | 0.95   | 0.66   | 0.57   | 0.91   | 0.16   | 0.84   | 0.90   | 0.28   | 0.61   | 1.00   |        |        |        |        |
| MPV 11 | 0.86   | 0.77   | 0.63   | 0.78   | 0.06   | 0.77   | 0.85   | 0.50   | 0.30   | 0.89   | 1.00   |        |        |        |
| MPV 12 | 0.93   | 0.64   | 0.68   | 0.94   | 0.22   | 0.84   | 0.93   | 0.30   | 0.58   | 0.93   | 0.91   | 1.00   |        |        |
| MPV 13 | 0.36   | 0.30   | 0.49   | 0.44   | 0.33   | 0.70   | 0.43   | 0.10   | 0.24   | 0.49   | 0.34   | 0.35   | 1.00   |        |
| MPV 14 | 0.64   | 0.30   | 0.26   | 0.77   | 0.25   | 0.56   | 0.58   | -0.34  | 0.85   | 0.64   | 0.30   | 0.58   | 0.35   | 1.00   |

**A**

|        | MPV 01 | MPV 02 | MPV 03 | MPV 04 | MPV 05 | MPV 06 | MPV 07 | MPV 08 | MPV 09 | MPV 10 | MPV 11 | MPV 12 | MPV 13 | MPV 14 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MPV 01 | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 02 | 0.30   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 03 | 0.63   | 0.79   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 04 | 0.22   | 0.89   | 0.78   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 05 | 0.13   | 0.15   | 0.07   | 0.05   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 06 | -0.03  | 0.44   | 0.47   | 0.72   | -0.14  | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 07 | 0.03   | 0.54   | 0.54   | 0.78   | -0.24  | 0.92   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 08 | 0.39   | 0.44   | 0.66   | 0.53   | -0.20  | 0.20   | 0.22   | 1.00   |        |        |        |        |        |        |
| MPV 09 | 0.41   | 0.61   | 0.47   | 0.68   | 0.17   | 0.43   | 0.56   | -0.02  | 1.00   |        |        |        |        |        |
| MPV 10 | 0.69   | 0.82   | 0.86   | 0.80   | 0.20   | 0.49   | 0.48   | 0.49   | 0.71   | 1.00   |        |        |        |        |
| MPV 11 | 0.27   | 0.67   | 0.68   | 0.75   | 0.06   | 0.24   | 0.41   | 0.81   | 0.34   | 0.54   | 1.00   |        |        |        |
| MPV 12 | 0.37   | 0.71   | 0.82   | 0.79   | 0.14   | 0.66   | 0.59   | 0.71   | 0.24   | 0.76   | 0.65   | 1.00   |        |        |
| MPV 13 | 0.32   | 0.44   | 0.50   | 0.40   | -0.55  | 0.02   | 0.35   | 0.56   | 0.22   | 0.27   | 0.63   | 0.24   | 1.00   |        |
| MPV 14 | 0.43   | 0.53   | 0.39   | 0.59   | 0.18   | 0.32   | 0.43   | -0.05  | 0.98   | 0.67   | 0.29   | 0.14   | 0.16   | 1.00   |

**B**

MPV 2.5 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El Autor

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 13:00-15:30, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar

que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP6, MP9, MP14.

Demostrando la acción del viento que transporta grandes distancias de la zona de influencia, mientras que los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles (Tabla 3-B).

### 1.3. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$

Se elaboró una base de datos, donde se resumen los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos de tiempo en la jornada de monitoreo de 13:00 – 15:30.

Tabla 4. Promedio PM 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

| Promedio MP 10      |             |        |             |        |
|---------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| Puntos de Monitoreo | A           |        | B           |        |
|                     | 07:30-10:00 |        | 13:00-15:30 |        |
| MPV 01              | ▼           | 0.0333 | ▼           | 0.034  |
| MPV 02              | ▼           | 0.0342 | ▼           | 0.033  |
| MPV 03              | ▼           | 0.0335 | ▼           | 0.0334 |
| MPV 04              | ■           | 0.0358 | ■           | 0.0356 |
| MPV 05              | ▼           | 0.0342 | ▼           | 0.0347 |
| MPV 06              | ■           | 0.0357 | ■           | 0.0357 |
| MPV 07              | ▼           | 0.0334 | ▼           | 0.0334 |
| MPV 08              | ▼           | 0.0341 | ■           | 0.0355 |
| MPV 09              | ■           | 0.0353 | ■           | 0.0356 |
| MPV 10              | ▼           | 0.0332 | ▼           | 0.0334 |
| MPV 11              | ▼           | 0.0342 | ▼           | 0.0346 |
| MPV 12              | ■           | 0.0358 | ■           | 0.0353 |
| MPV 13              | ■           | 0.0354 | ■           | 0.0363 |
| MPV 14              | ▲           | 0.0385 | ▲           | 0.0379 |

Puntos de monitoreo MPV 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El autor.

La tabla 4-A representa a el promedio de material particulado de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0347, la desviación estándar con un valor de 0.0014, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.005, un valor mínimo de 0.0332 y un máximo de 0.0385, con un total acumulado mensual de 0.4866  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

Los valores analizados en las horas de la tarde (Figura 7-B) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0349, la desviación estándar posee un valor de

0.0013 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0049, su valor mínimo es de 0.033 y un máximo de 0.0379, con un total acumulado mensual de 0.4884  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

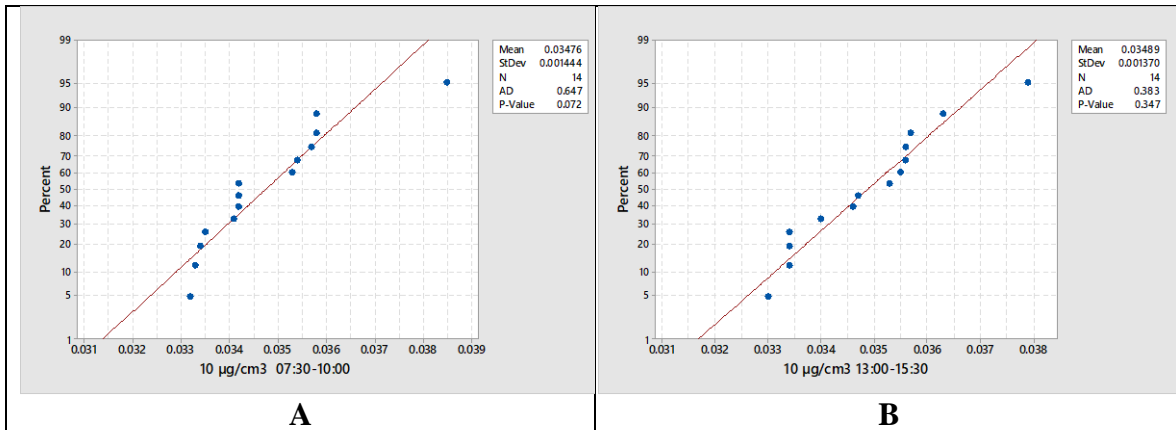


Figura 7. Gráfica de normalidad de MPV 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborador por: El Autor

#### 1.4. Análisis de correlación MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas donde no existe una barrera física, mientras que los puntos MP12 y MP13, donde existe una barrera física de la principal fuente, tienen una correlación inversamente proporcional (Tabla 3-A).

Tabla 5. Promedio PM 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

|        | MPV 01 | MPV 02 | MPV 03 | MPV 04 | MPV 05 | MPV 06 | MPV 07 | MPV 08 | MPV 09 | MPV 10 | MPV 11 | MPV 12 | MPV 13 | MPV 14 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MPV 01 | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 02 | 0.671  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 03 | 0.681  | 0.522  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 04 | 0.884  | 0.704  | 0.817  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 05 | 0.090  | -0.078 | 0.491  | 0.220  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 06 | 0.392  | 0.504  | 0.344  | 0.305  | 0.168  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 07 | 0.870  | 0.567  | 0.710  | 0.835  | 0.481  | 0.329  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 08 | -0.008 | -0.074 | 0.544  | 0.098  | 0.360  | 0.009  | -0.068 | 1.000  |        |        |        |        |        |        |
| MPV 09 | -0.206 | -0.488 | 0.289  | 0.048  | 0.445  | -0.599 | -0.033 | 0.498  | 1.000  |        |        |        |        |        |
| MPV 10 | 0.894  | 0.712  | 0.413  | 0.748  | -0.008 | 0.415  | 0.819  | -0.313 | -0.496 | 1.000  |        |        |        |        |
| MPV 11 | 0.493  | 0.761  | 0.364  | 0.357  | -0.010 | 0.289  | 0.409  | 0.189  | -0.464 | 0.557  | 1.000  |        |        |        |
| MPV 12 | 0.540  | 0.401  | 0.637  | 0.776  | 0.010  | 0.258  | 0.383  | 0.183  | 0.239  | 0.301  | -0.126 | 1.000  |        |        |
| MPV 13 | 0.074  | 0.122  | -0.091 | -0.022 | -0.102 | -0.440 | 0.132  | -0.038 | 0.112  | 0.289  | 0.533  | -0.486 | 1.000  |        |
| MPV 14 | -0.433 | -0.339 | 0.145  | 0.253  | 0.114  | 0.167  | -0.511 | 0.655  | 0.385  | -0.691 | -0.388 | 0.258  | -0.620 | 1.000  |

**A**

|        | MPV 01 | MPV 02 | MPV 03 | MPV 04 | MPV 05 | MPV 06 | MPV 07 | MPV 08 | MPV 09 | MPV 10 | MPV 11 | MPV 12 | MPV 13 | MPV 14 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MPV 01 | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 02 | 0.360  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 03 | 0.835  | 0.467  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 04 | 0.660  | 0.098  | 0.804  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 05 | 0.588  | 0.145  | 0.385  | 0.491  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 06 | 0.461  | 0.242  | 0.783  | 0.575  | 0.105  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 07 | 0.771  | 0.286  | 0.593  | 0.651  | 0.853  | 0.112  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |        |
| MPV 08 | -0.117 | -0.845 | -0.258 | 0.151  | 0.173  | -0.073 | 0.038  | 1.000  |        |        |        |        |        |        |
| MPV 09 | -0.129 | -0.340 | -0.470 | 0.259  | 0.094  | -0.593 | -0.044 | 0.066  | 1.000  |        |        |        |        |        |
| MPV 10 | 0.713  | 0.474  | 0.757  | 0.761  | 0.454  | 0.511  | 0.675  | -0.128 | 0.244  | 1.000  |        |        |        |        |
| MPV 11 | 0.625  | -0.251 | 0.472  | 0.476  | 0.308  | 0.530  | 0.260  | 0.357  | 0.144  | 0.349  | 1.000  |        |        |        |
| MPV 12 | 0.081  | 0.159  | 0.328  | 0.475  | 0.127  | 0.469  | 0.234  | 0.262  | -0.630 | 0.568  | 0.061  | 1.000  |        |        |
| MPV 13 | -0.163 | -0.570 | -0.533 | -0.141 | 0.045  | -0.746 | 0.113  | 0.472  | 0.725  | -0.185 | 0.033  | -0.248 | 1.000  |        |
| MPV 14 | -0.459 | -0.675 | -0.339 | -0.137 | -0.135 | 0.090  | -0.373 | 0.725  | -0.266 | -0.358 | -0.041 | 0.212  | -0.038 | 1.000  |

**B**

MPV 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El Autor

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP2, MP3, MP4, MP5 y MP7; cercanos a la fuente de emisión, son transportadas por acción del viento sin importar las barreras físicas que se encuentran en la zona de influencia, mientras que los puntos MP8, MP1 y MP13, tienen una baja correlación, debido las construcciones o barreras físicas limitan la concentración de material particulado (Tabla 5-B).

## 1.5. Concentración y análisis descriptivo del PMS

Culminado el registro de campo, durante los treinta días, se obtuvieron los datos que corresponden al peso de cada punto de monitoreo (Tabla 6), obteniendo en los meses de enero-febrero de 2020, de esta manera podemos establecer los límites permisibles LMP propuesto por la OMS y el TULSMA.

Tabla 6. Concentración PMS en los puntos de monitoreo.

| PUNTOS | Ubicación geográfica (UTM) |         | Peso inicial (mg) | Peso final (mg) | (Pf-Pi) mg | MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) |
|--------|----------------------------|---------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
|        | ESTE                       | NORTE   |                   |                 |            |                               |
| MP1    | 750360                     | 9816536 | 447.6             | 478.8           | ↑ 31.2     | 0.4696                        |
| MP2    | 750428                     | 9816768 | 447.8             | 469.0           | ↓ 21.2     | 0.3191                        |
| MP3    | 750300                     | 9816906 | 453.6             | 474.3           | ↓ 20.7     | 0.3115                        |
| MP4    | 750673                     | 9816863 | 449.6             | 470.9           | ↓ 21.3     | 0.3206                        |
| MP5    | 750689                     | 9816659 | 456.4             | 475.8           | ↓ 19.4     | 0.2920                        |
| MP6    | 750750                     | 9816484 | 450               | 473.7           | ↓ 23.7     | 0.3567                        |
| MP7    | 750933                     | 9817152 | 438               | 471.7           | ↑ 33.7     | 0.5072                        |
| MP8    | 750866                     | 9816787 | 446.1             | 474.0           | → 27.9     | 0.4199                        |
| MP9    | 751065                     | 9816471 | 436.1             | 456.0           | ↓ 19.9     | 0.2995                        |
| MP10   | 751204                     | 9816214 | 440.8             | 465.9           | → 25.1     | 0.3778                        |
| MP11   | 750710                     | 9815821 | 433.8             | 460.8           | → 27       | 0.4064                        |
| MP12   | 751859                     | 9816437 | 438.4             | 464.8           | → 26.4     | 0.3973                        |
| MP13   | 751670                     | 9816074 | 445.9             | 465.8           | ↓ 19.9     | 0.2995                        |
| MP14   | 751689                     | 9815585 | 444.93            | 469.35          | → 24.42    | 0.3675                        |

Elaborado por: El Autor

La comparación de los valores de concentración de PMS (tomados de la tabla 6) con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA, donde, el punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de 0,5072 mg/cm<sup>2</sup>/mes, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm<sup>2</sup>/mes, que concuerda con los niveles de concentración cercanos a la fuente de emisión UCEM (Tabla 7), dentro de estudios análogos en la zona de influencia de empresa UCEM manifiestan un comportamiento distinto con niveles elevados, como que se puede estimar que la dirección y la velocidad del viento influyen de manera directa a la dispersión del MP (Andi & Vega, 2019).

Tabla 7. LP de MPS en los puntos de monitoreo.

| PUNTOS | MPS<br>(mg/cm <sup>2</sup> /mes) | LMP OMS                          | LP | LMP<br>TULSMA                  | LP |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|----|--------------------------------|----|
| MP1    | 0.4696                           | 0.5<br>(mg/cm <sup>2</sup> /mes) | S  | 1<br>(mg/cm <sup>2</sup> /mes) | S  |
| MP2    | 0.3191                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP3    | 0.3115                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP4    | 0.3206                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP5    | 0.2920                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP6    | 0.3567                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP7    | 0.5072                           |                                  | N  |                                | S  |
| MP8    | 0.4199                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP9    | 0.2995                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP10   | 0.3778                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP11   | 0.4064                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP12   | 0.3973                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP13   | 0.2995                           |                                  | S  |                                | S  |
| MP14   | 0.3675                           |                                  | S  |                                | S  |

Elaborado por: El Autor (S= si se encuentra dentro del LP; N=no se encuentra dentro del LP)

La influencia de factores medio ambientales, cambian la movilidad de la concentración de material particulado, las características predominantes en esta escala de tiempo manifiestan según el boletín meteorológico del INHAMI 2020, en relación a la precipitación registrada en los equipos meteorológicos muestra una irregular disminución por debajo de los valores registrados en la misma época en el año 2019 (INAMHI, 2020), la misma dinámica lo tiene la temperatura, existe una disminución en el callejón interandino, que altera las condiciones de dispersión de contaminante, cambiando la direccionalidad y velocidad del viento; así también, los días soleados propician que el aire circundante se caliente y se produzca el movimiento vertical o convectivo en la atmósfera (Zhang, Cai, Wang, He, & Zheng, 2017).

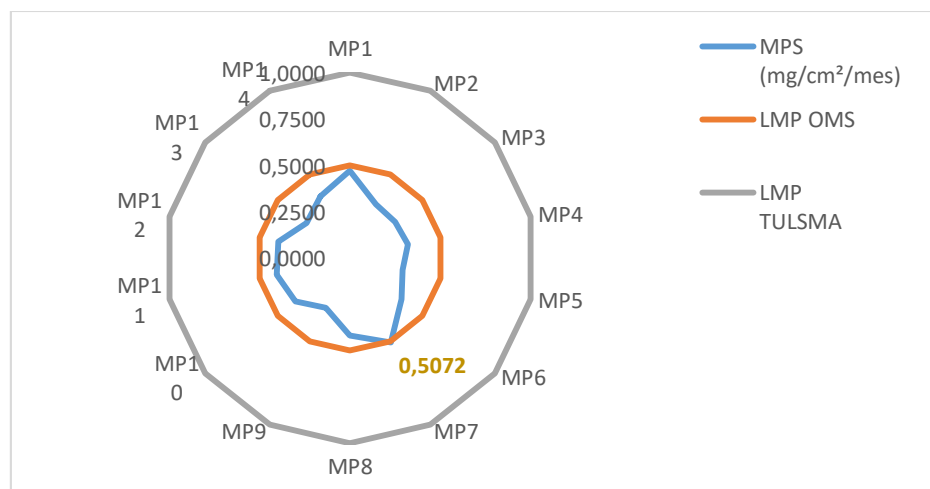


Figura 8. Comparación MPS frente a los LP OMS (Organización Mundial de la Salud) y TULSMA (Texto unificado legislación secundaria medio ambiental)

Elaborado por: El Autor

### 1.6. Análisis global de la concentración de PMV en las comunidades pertenecientes de GATAZO, de la parroquia Cajabamba del cantón Colta, en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA.

Para la evaluación de la valoración de los límites permisibles en los diferentes puntos de monitoreo de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en el período comprendido al mes de Enero – Febrero de 2020, realizamos un promedio en los 14 puntos de monitoreo.

La Tabla 8, indica la comparación de la concentración del PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> con respecto a la OMS y el TUSLMA, se determinó que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS 25 µg/m<sup>3</sup>, pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos en grandes distancias. Según (Salini Calderón & Medina Mitma, 2017), menciona que estas partículas suelen estar suspendidas en la atmósfera muchos días.

**Tabla 8. Concentración de PM<sub>2.5</sub> de las comunidades Gatazo, con los LMP OMS (Organización Mundial de la Salud) y TULSMA (Texto unificado legislación secundaria medio ambiental).**

| Punto de Monitoreo | MPV 2.5 µg/m <sup>3</sup> | MPV 10 µg/m <sup>3</sup> | LMP OMS              | LP | LMP TULSMA           | LP |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|----|----------------------|----|
| MP1                | 31.75                     | 33.65                    | 25 µg/m <sup>3</sup> | N  | 65 µg/m <sup>3</sup> | S  |
| MP2                | 32.20                     | 33.60                    |                      | N  |                      | S  |
| MP3                | 31.40                     | 33.45                    |                      | N  |                      | S  |
| MP4                | 32.20                     | 35.70                    |                      | N  |                      | S  |
| MP5                | 33.60                     | 34.45                    |                      | N  |                      | S  |
| MP6                | 31.60                     | 35.70                    |                      | N  |                      | S  |
| MP7                | 31.30                     | 33.40                    |                      | N  |                      | S  |
| MP8                | 34.35                     | 34.80                    |                      | N  |                      | S  |
| MP9                | 34.65                     | 35.45                    |                      | N  |                      | S  |
| MP10               | 31.95                     | 33.30                    |                      | N  |                      | S  |
| MP11               | 31.90                     | 34.40                    |                      | N  |                      | S  |
| MP12               | 32.45                     | 35.55                    |                      | N  |                      | S  |
| MP13               | 33.30                     | 35.85                    |                      | N  |                      | S  |
| MP14               | 33.80                     | 38.20                    |                      | N  |                      | S  |

Elaborado por: El Autor (S= si se encuentra dentro del LP; N=no se encuentra dentro del LP)

Los datos representados en la Tabla 8, donde, se observa la comparación entre las concentraciones, se observa que el PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, sobrepasan los límites permisibles de la OMS, pero no del TULSMA, principalmente por la fuente de emisión, además sumado a



las actividades agrícolas y flujo de tránsito vehicular (Castañeda Velandia & Méndez Alcázar, 2018).

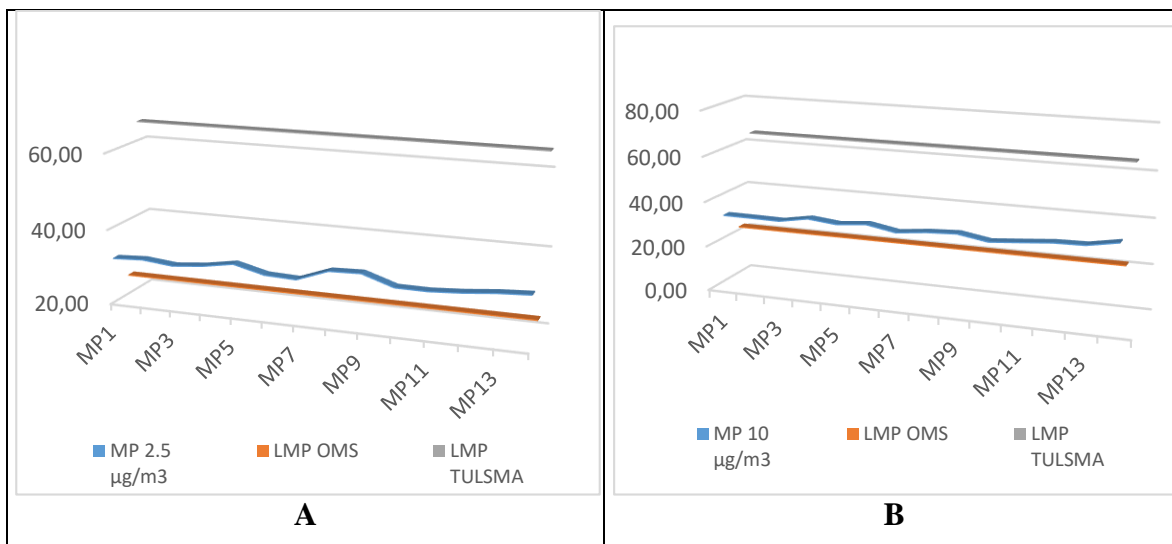


Figura 9. A) Comparación MPV 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y B) Comparación 2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  frente a los LP OMS y TULSMA  
Elaborado por: El Autor

## 2. Dinámica geoespacial de la concentración y dispersión de contaminantes de PM

Como parte del tercer objetivo se elaboraron tres modelos geoespaciales, representados en tres mapas, que permiten visualizar la concentración y dispersión del PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, y PMS durante el período enero-febrero de 2020. Dentro del análisis estadístico se obtuvo una predicción del 98,75%, 99,45% y 99,10%, con un error del de 1.55%, 0,55% y 0,90%, respectivamente (Peña & Araya, 2019), manifiestan que los niveles de precisión exitosos dependen del número de puntos de monitoreo, el tratamiento estadístico y la recolección de datos, generalmente se considera un modelo predictivo muy bueno cuando supera el 75%.

Para generar la predicción geoespacial, se utilizaron variables climáticas (viento), considerando la dirección y la velocidad; tomados de las estaciones meteorológicas, Así también, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con dos variables, coordenadas en norte y este, y los datos de dirección de viento que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Quimiag y San Juan (Chimborazo); las unidades de la dirección están representadas en función de la dirección de la rosa de los vientos (WordClim, 2020).

La dinámica de las predicciones geospaciales mostradas en la (Figura 10), indica la concentración y movilidad en forma de la dispersión de PMS, mediante este análisis determinamos que en el punto PM7 ( $0.5072 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ ), los niveles de concentración superan el LPM propuestos por las entidades reguladoras (OMS), pero no supera el LPM del TULSMA, seguido del punto MP1 y MP8, con un valor de ( $0.4996-0.4199 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ ) que no sobrepasa el LMP de la OMS y TULSMA. La direccionalidad del viento tiene tendencia hacia el sur, con un valor promedio de  $2.82 \text{ m/s}$  y una desviación estándar de  $0.65$ , esto se debe a que el área es relativamente pequeña para observar cambios significativos, los estudios realizados por (Andi & Vega, 2019) reportan valores similares, pero en cuanto a la dirección existe una variación debido a factores topográficos y la relación de actividades similares de emisión de material particulado de manera tradicional de las caleras.

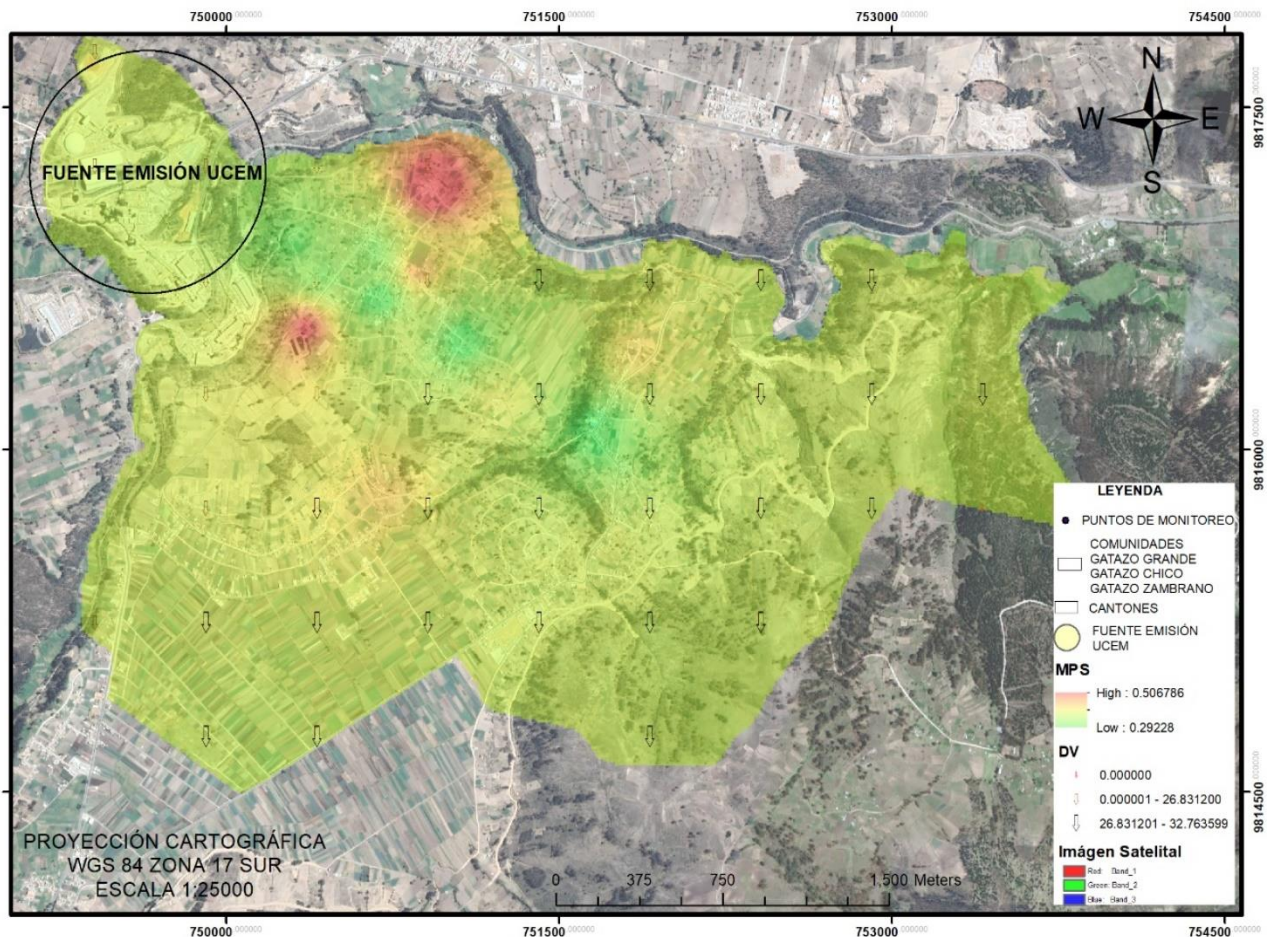


Figura 10. Comparación MPS Comunidades Gatazo  
Elaborado por: El Autor



La Figura 11 indica el modelo de dispersión del MPV 10, en el cual, indica la concentración y dispersión máxima en el punto en el punto MP14 ( $38.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la misma tendencia de los demás valores se encuentran en un promedio de  $34.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; los cuales superan el LMP establecido por la OMS  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero no supera el LMP propuestos por las entidades reguladoras Ecuatorianas (TULSMA), se asume este incremento debido a las actividades industriales artesanales que emiten material particulado, de la misma manera actividades relacionados con la agricultura.

Estudios análogos estiman un nivel menor a los registrados en el área de influencia, esto se debe a la direccionalidad del viento, la velocidad del mismo y la geomorfología del territorio, debido a que el tipo de pendiente es catalogado como plano y ondulado, el material particulado puede viajar por un amplio espacio del territorio e inclusive incrementar valores por otras fuentes de emisión cercanas.

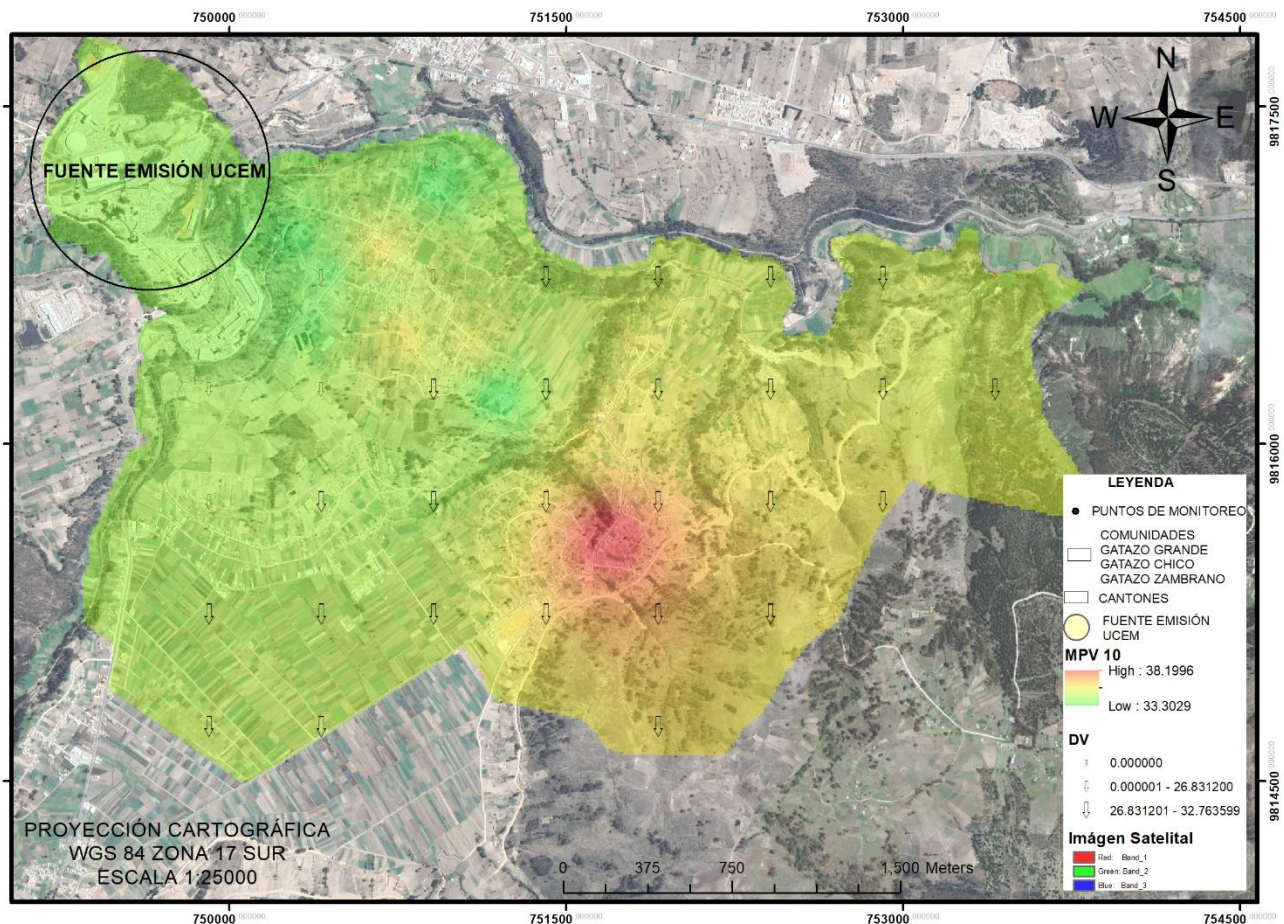


Figura 11. Comparación MPV 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Comunidades Gatazo  
Elaborado por: El Autor

La Figura 12 indica el modelo de dispersión del MPV 2.5, en el cual, indica la concentración y dispersión máxima en el punto en el punto MP9 ( $34.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la misma tendencia de los demás valores se encuentran en un promedio de  $32.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; los cuales superan el LMP establecido por la OMS  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero no supera el LMP propuestos por las entidades reguladoras Ecuatorianas (TULSMA), podemos determinar que la carga de material particulado es mayor a la zona de estudio análogas (Andi & Vega, 2019), ya que las condiciones topográficas y climáticas, favorece el incremento de la concentración en las comunidades de Gatazo, sumado a esto las actividades artesanales de transformación de óxido de calcio (cal), en conjunto con la actividad agrícola intensiva.

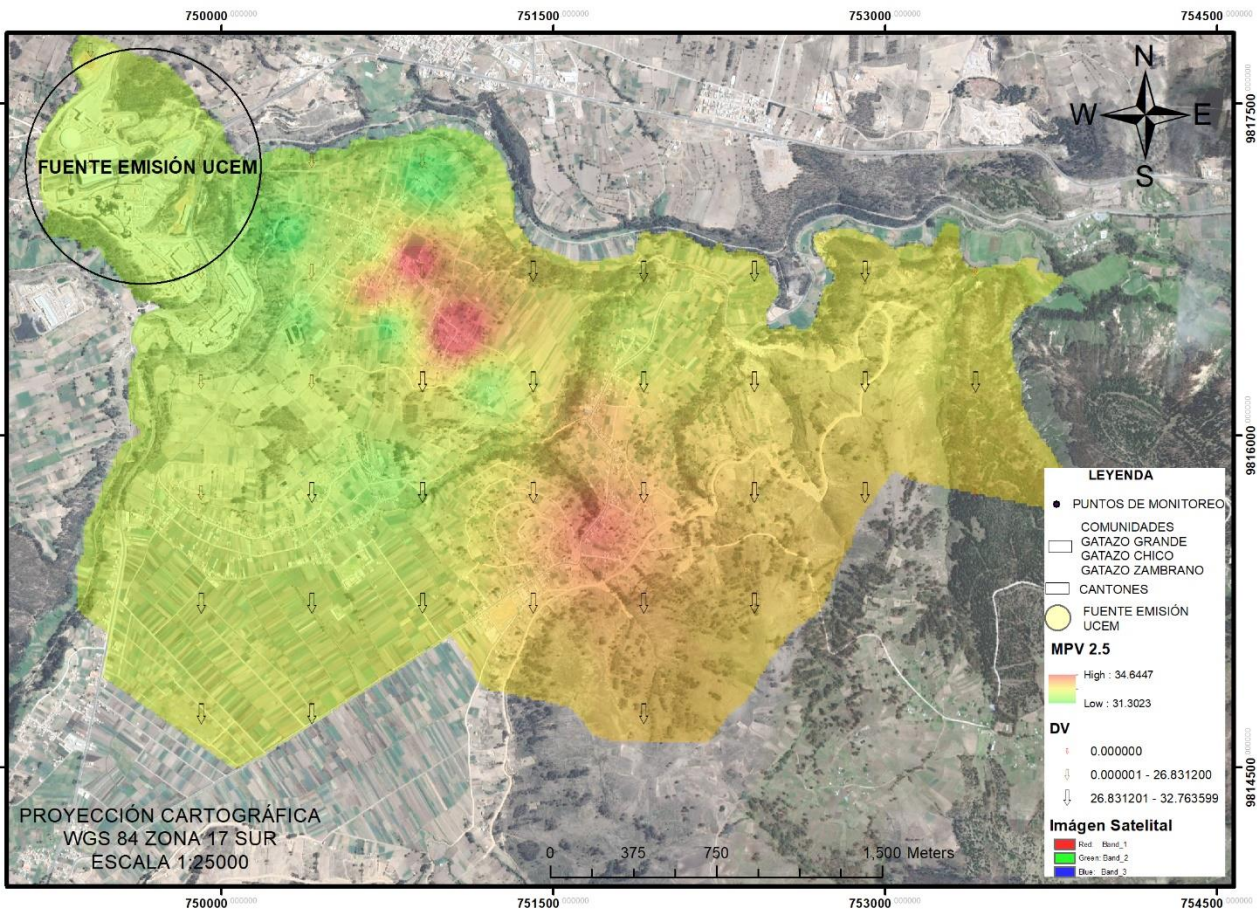


Figura 12. Comparación MPV 2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Comunidades Gatazo  
Elaborado por: El Autor



## CONCLUSIONES

- Se logró establecer en los puntos de monitoreo un análisis de correlación de MP 2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  comprendido en las horas de la mañana (07:30-10:00), tienen una correlación fuerte en los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas. En la tarde (13:00 – 15:30) tiene una correlación fuerte en los puntos MP6, MP9, MP14, mientras que los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles.
- La correlación de los datos MPV 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  comprendidos en la tarde (13:00-15:30), tienen una correlación fuerte en los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; mientras que los puntos MP12 y MP13, existe una correlación inversa, debido a la lejanía de las fuentes de emisión.
- La concentración de PMS del punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de 0.5072  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ , sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de 1  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ; la comparación de la concentración del PM2,5 y PM10 con respecto a la OMS y el TUSLMA, concluye que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia.
- El modelo de dispersión geoespacial, determinó un valor de precisión adecuado para poder elaborar los mapas de MPS y MPV, estableciendo una estrecha relación de la concentración con los factores climáticos y topográficos, de esta manera se puede realizar una aproximación a los efectos que tienen sobre la salud la constante emisión por parte de la actividad industrial, para tomar medidas adecuadas frente a la elaboración de planes de contingencia en las comunidades pertenecientes a Gatazo.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios continuos en el sitio de la investigación con el fin de obtener datos periódicos de la concentración de material particulado sedimentable a través del tiempo.
- Buscar alternativas viables para evitar el aumento de concentración de material particulado sedimentable por la incidencia de las actividades como las caleras y la producción de la industria del cemento.
- Es evidente la concentración de material particulado sedimentable debido a la presencia de industria en el sector por lo que no cuenta con un plan de manejo, por ello se requiere el apoyo de otras investigaciones y entidades con el fin de preservar el ambiente y la salud de la comunidad de Gatazo Grande.
- Incluir los datos de esta investigación en los Planes de Ordenamiento Territorial para darle un manejo sustentable a la comunidad de Gatazo Grande del cantón Colta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adame, A. R. (2010). Contaminación ambiental y calentamiento global. *Trillas*.
- Álvarez, A., Zurita, G., & Gallegos, N. (2019). Función de Producción de Cemento: Caso Unión Cementera Nacional - Planta Chimborazo. *Kairos*, 31-37.
- Andi, J., & Vega, R. (2019). *Determinación y Caracterización de Concentraciones de Material Particulado Sedimentable y Volátil en el Sector Calpi Cantón Riobamba por Incidencia Industrial*. Riobamba.
- Andi, S. J., & Vega, R. (2019). *Andi Shiguango Juan Gabriel*. Riobamba.
- Arciniégas, C. (2012). *Scielo*. Obtenido de Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-)
- Ataz, E. M., & Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmosférica* (Vol. Vol. 45). Castilla, España: Univ de Castilla La Mancha.
- Cáceres, D. (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por la exposición a material particulado fino MP(2.5)*. Barcelona.
- Cardona, D. E. (2016). Estandarización del método de ensayo para material particulado PM10 y PM 2.5 con base en la NTC-ISO/IEC 17025: 2005. *Administración Ambiental*, 117.
- Castañeda Velandia, D. S., & Méndez Alcázar, J. A. (2018). Estimación de la relación entre material particulado PM10 atmosférico y el susceptible de resuspensión en algunas vías de Bogotá. *Ingeniería Ambiental Sanitaria*, 174.
- Castillo, J. (2015). *Importancia de la Caracterización Físicoquímica del Material Particulado Pm2.5 Por Su Asociación con Enfermedades Cardiovasculares (Presión Arterial, Aterosclerosis) Y Los Efectos En El Medio Ambiente*. Bucaramanga.
- Chuto, C. M. (2017). *Estudio de la situación Socio-Linguística de la comunidad Gatazo Grande de la provincia de Chimborazo*. Quito: UPS.
- Corral, J. (2017). *Monitoreo y Análisis de la Calidad de Aire en la Via Cuenca-Sayausi- El Cajas*. Cuenca.
- Díaz, V. ( 2015). Informe de la Calidad del Aire en Quito. *Obtenido de [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)*.
- Duque, J. (2017). *Sobre los efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud (Basado en el texto Clean the air for children, UNICEF, 2016)*.
- Erazo, R. (2013). En *Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosi, Mexico* (págs. 22(1), 5-15). Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental.

- Escudero, P. D. (2017). Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales tipo MIDUVI. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Flores, J. P. (2011). Material Particulado dispersado al aire por vehículos en caminos agrícolas no pavimentadas. . *TERRA Latinoamericana*, 23-34.
- Gaviria, C., Benavides, P., & Carolina, T. (s.f.).
- Gaviria, Muñoz & Gonzáles, C. F. (2012). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(3), 316–327.
- IGM. (2014). *Cartografía Base Ecuador 50000*. Quito: IGM.
- INAMHI. (2020). *Boletín Climatológico*. Quito: INAMHI.
- Lara, C. A. (2018). *Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio La Esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos* .
- MAE. (2012). *Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional*. Quito.
- Manahan, E. (2012). Introducción a la química ambiental. En T. p. Mora.
- Marcos, R. &. (2012). *Contaminación del aire por material particulado*. entro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF).
- OMS. (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. *Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-airquality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-airquality-and-health)*.
- Oyarzún, M. (2010). *Contaminación aérea y sus efectos en la salud*. Chile.
- Peña, A., & Araya, P. (2019). Hacia el modelado de material particulado fino en Santiago, Chile, mediante imágenes MODIS. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 55(1), 74-81.
- Préndez, M., Corvalán, R., & Cisternas, M. (2007). Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile. *Scielo*.
- Saldini, G., & Medina, E. (2017). *Estudio Sobre la Dinámica Temporal de Material Particulado Pm10 Emitido en Cochabamba, Bolivia*. Cochabamba.
- Salinas, P. (2012). Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencias por mornilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010. *Universidad Austral de Chile*.



- Salini Calderón, G. A., & Medina Mitma, E. J. (2017). Estudio sobre la dinámica temporal de material particulado Pm 10 emitido en Cochabamba, Bolivia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 437-448.
- Santillán, G. C. (2016). *Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH*. Revista Científica Perfiles.
- Schraufnagel, D. E.-H. (2019). *Air pollution and noncommunicable diseases*. *Chest*, 155(2), 409–416.
- Suárez, S., & Molina, E. (2014). Industrial development and its impact on the environment. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52.
- TULSMA. (2012). *Norma de Calidad del Aire Ambiente Libro VI ANEXO 4*.
- WordClim. (04 de 29 de 2020). *worldclim.org*. Obtenido de <https://www.worldclim.org>
- Zhang, Y., Cai, J., Wang, S., He, K., & Zheng, M. (2017). Review of receptor-based source apportionment research of fine particulate matter and its challenges in China. *Science of The Total Environment*, 917-929.

## ANEXOS

### Anexo 1 Análisis de MP 10 µg/m³

| FECHAS           | HORAS       | MPV PUNTO 1      | MPV PUNTO 2      | MPV PUNTO 3      | MPV PUNTO 4      | MPV PUNTO 5      | MPV PUNTO 6      | MPV PUNTO 7      | MPV PUNTO 8      | MPV PUNTO 9      | MPV PUNTO 10     | MPV PUNTO 11     | MPV PUNTO 12     | MPV PUNTO 13     | MPV PUNTO 14     |
|------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |             | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ | FILTRO 10 µg/cm³ |
| 13/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.036            | 0.038            | 0.038            | 0.036            | 0.034            | 0.035            | 0.035            | 0.034            | 0.034            | 0.035            | 0.036            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.033            | 0.034            | 0.033            | 0.038            | 0.036            | 0.037            | 0.034            | 0.036            | 0.036            | 0.037            | 0.035            | 0.038            | 0.036            | 0.038            |
| 16/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.030            | 0.035            | 0.033            | 0.030            | 0.034            | 0.038            | 0.030            | 0.036            | 0.034            | 0.029            | 0.036            | 0.034            | 0.034            | 0.049            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.033            | 0.030            | 0.032            | 0.031            | 0.034            | 0.038            | 0.030            | 0.038            | 0.036            | 0.029            | 0.038            | 0.034            | 0.035            | 0.047            |
| 20/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.030            | 0.030            | 0.033            | 0.032            | 0.035            | 0.033            | 0.032            | 0.034            | 0.038            | 0.029            | 0.030            | 0.035            | 0.036            | 0.042            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.032            | 0.032            | 0.030            | 0.031            | 0.036            | 0.031            | 0.034            | 0.037            | 0.036            | 0.030            | 0.031            | 0.034            | 0.038            | 0.045            |
| 23/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.032            | 0.030            | 0.033            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.031            | 0.036            | 0.038            | 0.029            | 0.030            | 0.038            | 0.032            | 0.048            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.030            | 0.031            | 0.032            | 0.036            | 0.032            | 0.036            | 0.030            | 0.037            | 0.034            | 0.031            | 0.032            | 0.037            | 0.036            | 0.046            |
| 27/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.032            | 0.033            | 0.031            | 0.031            | 0.033            | 0.032            | 0.032            | 0.034            | 0.035            | 0.033            | 0.037            | 0.031            | 0.041            | 0.030            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.033            | 0.031            | 0.030            | 0.032            | 0.034            | 0.030            | 0.033            | 0.036            | 0.039            | 0.031            | 0.035            | 0.033            | 0.044            | 0.031            |
| 30/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.036            | 0.035            | 0.034            | 0.038            | 0.032            | 0.038            | 0.034            | 0.034            | 0.033            | 0.037            | 0.035            | 0.037            | 0.036            | 0.038            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.036            | 0.034            | 0.035            | 0.036            | 0.034            | 0.037            | 0.034            | 0.035            | 0.035            | 0.038            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.038            |
| 3/2/2020         | 07:30-10:00 | 0.035            | 0.035            | 0.034            | 0.036            | 0.034            | 0.036            | 0.035            | 0.033            | 0.035            | 0.034            | 0.035            | 0.035            | 0.034            | 0.035            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.034            | 0.036            | 0.035            | 0.035            | 0.034            | 0.037            | 0.032            | 0.030            | 0.036            | 0.033            | 0.033            | 0.033            | 0.032            | 0.030            |
| 6/2/2020         | 07:30-10:00 | 0.032            | 0.035            | 0.030            | 0.034            | 0.032            | 0.036            | 0.032            | 0.030            | 0.033            | 0.034            | 0.032            | 0.036            | 0.034            | 0.033            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.034            | 0.036            | 0.033            | 0.030            | 0.034            | 0.035            | 0.033            | 0.033            | 0.034            | 0.032            | 0.033            | 0.036            | 0.034            | 0.032            |
| 10/2/2020        | 07:30-10:00 | 0.036            | 0.038            | 0.037            | 0.044            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.036            | 0.039            | 0.036            | 0.037            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.037            | 0.033            | 0.037            | 0.042            | 0.037            | 0.038            | 0.038            | 0.036            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.036            | 0.036            | 0.036            |
| 13/2/2020        | 07:30-10:00 | 0.036            | 0.038            | 0.036            | 0.043            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.035            | 0.036            | 0.036            | 0.037            | 0.039            | 0.036            | 0.037            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.038            | 0.033            | 0.037            | 0.045            | 0.036            | 0.038            | 0.036            | 0.037            | 0.035            | 0.037            | 0.038            | 0.036            | 0.036            | 0.036            |
| PROMEDIO         |             | 0.034            | 0.034            | 0.033            | 0.036            | 0.034            | 0.036            | 0.033            | 0.035            | 0.035            | 0.033            | 0.034            | 0.036            | 0.036            | 0.038            |
| RESULTADO MPV-P1 |             | <b>33.650</b>    | <b>33.600</b>    | <b>33.450</b>    | <b>35.700</b>    | <b>34.450</b>    | <b>35.700</b>    | <b>33.400</b>    | <b>34.800</b>    | <b>35.450</b>    | <b>33.300</b>    | <b>34.400</b>    | <b>35.550</b>    | <b>35.850</b>    | <b>38.200</b>    |
|                  |             | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            |

### Análisis de MP 2.5 µg/m³

| FECHAS           | HORAS       | MPV PUNTO 1      | MPV PUNTO 2      | MPV PUNTO 3      | MPV PUNTO 4      | MPV PUNTO 5      | MPV PUNTO 6      | MPV PUNTO 7      | MPV PUNTO 8      | MPV PUNTO 9      | MPV PUNTO 10     | MPV PUNTO 11     | MPV PUNTO 12     | MPV PUNTO 13     | MPV PUNTO 14     |
|------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |             | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ | FILTRO 2.5ug/cm³ |
| 13/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.029            | 0.033            | 0.021            | 0.028            | 0.029            | 0.028            | 0.030            | 0.036            | 0.030            | 0.031            | 0.029            | 0.029            | 0.030            | 0.031            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.030            | 0.030            | 0.031            | 0.029            | 0.035            | 0.029            | 0.028            | 0.033            | 0.031            | 0.029            | 0.030            | 0.030            | 0.030            | 0.030            |
| 16/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.030            | 0.030            | 0.028            | 0.029            | 0.035            | 0.029            | 0.030            | 0.032            | 0.034            | 0.029            | 0.030            | 0.029            | 0.031            | 0.032            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.031            | 0.031            | 0.030            | 0.030            | 0.036            | 0.030            | 0.029            | 0.030            | 0.033            | 0.030            | 0.031            | 0.030            | 0.030            | 0.033            |
| 20/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.030            | 0.033            | 0.031            | 0.031            | 0.033            | 0.030            | 0.031            | 0.032            | 0.033            | 0.029            | 0.031            | 0.030            | 0.030            | 0.033            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.031            | 0.031            | 0.030            | 0.030            | 0.032            | 0.032            | 0.030            | 0.030            | 0.032            | 0.031            | 0.029            | 0.030            | 0.031            | 0.032            |
| 23/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.030            | 0.030            | 0.030            | 0.029            | 0.035            | 0.029            | 0.030            | 0.032            | 0.034            | 0.029            | 0.029            | 0.028            | 0.031            | 0.032            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.031            | 0.029            | 0.029            | 0.030            | 0.033            | 0.031            | 0.029            | 0.033            | 0.033            | 0.030            | 0.031            | 0.029            | 0.030            | 0.036            |
| 27/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.031            | 0.033            | 0.033            | 0.032            | 0.034            | 0.033            | 0.032            | 0.035            | 0.033            | 0.032            | 0.032            | 0.031            | 0.044            | 0.033            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.032            | 0.032            | 0.032            | 0.032            | 0.031            | 0.031            | 0.031            | 0.036            | 0.032            | 0.031            | 0.033            | 0.032            | 0.042            | 0.031            |
| 30/1/2020        | 07:30-10:00 | 0.035            | 0.033            | 0.033            | 0.038            | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.030            | 0.054            | 0.036            | 0.034            | 0.037            | 0.036            | 0.038            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.034            | 0.035            | 0.034            | 0.036            | 0.034            | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.050            | 0.037            | 0.033            | 0.035            | 0.036            | 0.055            |
| 3/2/2020         | 07:30-10:00 | 0.034            | 0.034            | 0.033            | 0.035            | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.038            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.034            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.030            | 0.036            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.035            | 0.033            | 0.032            |
| 6/2/2020         | 07:30-10:00 | 0.033            | 0.033            | 0.037            | 0.033            | 0.034            | 0.032            | 0.033            | 0.038            | 0.032            | 0.033            | 0.035            | 0.035            | 0.033            | 0.030            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.030            | 0.032            | 0.032            | 0.034            | 0.033            | 0.036            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.032            | 0.032            | 0.036            | 0.032            | 0.032            |
| 10/2/2020        | 07:30-10:00 | 0.032            | 0.033            | 0.033            | 0.035            | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.038            | 0.034            | 0.032            | 0.032            | 0.034            | 0.034            | 0.034            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.030            | 0.034            | 0.032            | 0.034            | 0.034            | 0.032            | 0.030            | 0.036            | 0.032            | 0.033            | 0.033            | 0.035            | 0.033            | 0.032            |
| 13/2/2020        | 07:30-10:00 | 0.034            | 0.034            | 0.033            | 0.035            | 0.034            | 0.033            | 0.034            | 0.038            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            | 0.034            |
|                  | 13:00-15:30 | 0.034            | 0.032            | 0.032            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.030            | 0.036            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.036            | 0.033            | 0.032            |
| PROMEDIO         |             | 0.032            | 0.032            | 0.031            | 0.032            | 0.034            | 0.032            | 0.031            | 0.034            | 0.035            | 0.032            | 0.032            | 0.032            | 0.033            | 0.034            |
| RESULTADO MPV-P1 |             | <b>31.750</b>    | <b>32.200</b>    | <b>31.400</b>    | <b>32.200</b>    | <b>33.600</b>    | <b>31.600</b>    | <b>31.300</b>    | <b>34.350</b>    | <b>34.650</b>    | <b>31.95</b>     | <b>31.900</b>    | <b>32.450</b>    | <b>33.300</b>    | <b>33.800</b>    |
|                  |             | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            | ug/m3            |

## Anexo 2. Registro Fotográfico

### 1. Ubicación de los equipos para el muestreo



**PM 01 Comunida Gatazo Grande**



**PM 05 Vía principal**



**PM 07 Zona de pastos**



**Monitoreo equipo DUSTRACK II**



2. Monitoreo de Material Particulado Sedimentable en la Comunidad Gatazo Grande cantón Colta.



**Monitoreo zona de pastura  
DUSTRACK II**



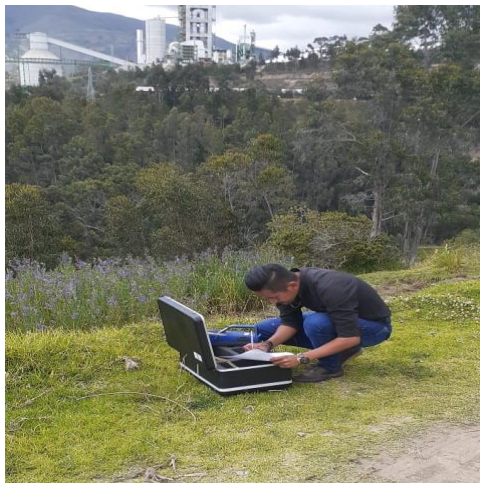
**Monitoreo zona Urbana DUSTRACK II**



**Monitoreo PM DUSTRACK II**



**Monitoreo PM DUSTRACK II**



**Manejo Equipo DUSTRACK II**



**Análisis de laboratorio Balanza Analítica**

