



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

#### **“DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>) POR MOVIMIENTO EÓLICO MEDIANTE SIMULACIÓN MATEMÁTICA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO DEL AÑO 2015”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: DANIELA VANESSA BARBERÁN CADENA**

**TUTORA: MSc. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI**

Riobamba-Ecuador

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>) POR MOVIMIENTO EÓLICO MEDIANTE SIMULACIÓN MATEMÁTICA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO DEL AÑO 2015”, de responsabilidad de la señorita Daniela Vanessa Barberán Cadena ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
MSc. María Rafaela Viteri Uzcátegui <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. Juan Carlos Gonzáles <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. Hugo Calderón <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN</b>	.....	.....

“Yo, Daniela Vanessa Barberán Cadena soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

---

**Daniela Vanessa Barberán Cadena.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres César Barberán y Cecilia Cadena que han sido ejemplo de sabiduría y paciencia para alcanzar los objetivos que se proponen, por ellos y para ellos hoy soy la mujer y futura profesional integra y con los valores que han sabido forjar y fomentar en mí. Para mi segunda madre y hermana Aleyda Barberán que con sus consejos y apoyo en todo momento me animo a seguir adelante y nunca rendirme pese a las adversidades que la vida nos presenta. Para mis dos amores Samantha de los Ángeles Vásquez Barberán Y Miguel Ángel Vásquez Barberán que con sus sonrisas y travesuras hacen de mi vida una aventura.

A mis amigos y demás familiares quienes estuvieron dándome palabras de aliento y en cada momento de esta etapa hermosa de mi vida.

Daniela

## **AGRADECIMIENTO**

El mayor agradecimiento a Dios por darme la vida, la fe, la fuerza y la sabiduría para seguir adelante sin rendirme y ser la mayor fortaleza en los momentos de debilidad.

A mis padres que con su apoyo económico y moral me animaron a seguir adelante con sacrificio y esfuerzo para alcanzar esta meta.

A mi hermana que también contribuyo para mi crecimiento estudiantil de varias maneras.

A mi querida Escuela Superior Politécnica del Chimborazo por haberme permitido estudiar en sus aulas y así llegar a ser una excelente profesional.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo por el apoyo en la ejecución de mi proyecto técnico y la gran colaboración, en especial al Ing. Carlos Bonilla Coordinador del Departamento de Gestión Ambiental.

A la MSc. María Rafaela Viteri Uzcátegui quien fue mi guía y orientadora en el proceso de realización de mi tesis con sus amplios conocimientos y paciencia.

Al Ing. Miguel Osorio por su colaboración con el programa ArcGis.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI por la colaboración y entrega de importante información para el desarrollo de este proyecto.

Daniela

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>CORPAIRE</b>	Corporación para el mejoramiento del aire en Quito.
<b>COSUDE</b>	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
<b>EMOV EP</b>	Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca
<b>EPA</b>	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
<b>GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>IQCA</b>	Índice Quiteño sobre la Calidad del Aire
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>MAE</b>	Ministerio del Ambiente
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NESTA</b>	National Earth Science Teachers Association
<b>NOAA</b>	National Oceanic and atmospheric Administration
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>PM</b>	Material Particulado
<b>PNCA</b>	Plan Nacional de Calidad del Aire
<b>REMMAQ</b>	Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de Quito
<b>REPAR</b>	Red Activa de Material Particulado
<b>TULSMA</b>	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
<b>WRF</b>	Weather Research and Forecasting model.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	-xiii-
ABSTRACT.....	-xiv-
INTRODUCCIÓN.....	-xv-
ANTECEDENTES.....	-xvii-
JUSTIFICACIÓN.....	-xx-
OBJETIVOS.....	-xxii-
OBJETIVO GENERAL.....	-xxii-
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	-xxii-
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1.1 Atmósfera.....</b>	<b>- 1 -</b>
<i>1.1.1 Composición de la atmósfera:.....</i>	<i>- 1 -</i>
<i>1.1.2 Partes de la Atmósfera.....</i>	<i>- 1 -</i>
<i>1.1.2.1 Tropósfera.....</i>	<i>- 2 -</i>
<i>1.1.2.2 Estratósfera.....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>1.1.2.3 Mesósfera.....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>1.1.2.4 Termósfera o ionósfera.....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>1.1.2.5 Exósfera.....</i>	<i>- 3 -</i>
<b>1.2 Contaminación atmosférica.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>1.2.1 Fuentes de Contaminación atmosférica.....</b>	<b>- 5 -</b>
<i>1.2.1.1 Fuentes Naturales.....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>1.2.1.2 Fuentes Antropogénicas.....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>1.2.1.2.1 Fuentes fijas o puntuales.....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>1.2.1.2.2 Fuentes Móviles.....</i>	<i>- 6 -</i>
<b>1.3 Condiciones atmosféricas.....</b>	<b>- 6 -</b>
<i>1.3.1 El Aire.....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>1.3.2 Precipitaciones.....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>1.3.3 Radiación solar.....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>1.3.4 Viento.....</i>	<i>- 7 -</i>
<b>1.4 Emisiones fugitivas.....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>1.5 Material Particulado (PM).....</b>	<b>- 8 -</b>
<i>1.5.1 Clasificación según su Proceso de formación.....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>1.5.1.1 Partículas Primarias.....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>1.5.1.2 Partículas Secundarias.....</i>	<i>- 9 -</i>

<b>1.5.2</b>	<b><i>Clasificación de acuerdo con el diámetro que posee.</i></b> .....	<b>- 9 -</b>
1.5.2.1	<i>PM Sedimentable</i> .....	- 9 -
1.5.2.2	<i>PM no sedimentable</i> .....	- 9 -
1.5.2.2.1	<i>PM<sub>10</sub></i> .....	- 10 -
1.5.2.2.2	<i>PM<sub>2,5</sub></i> .....	- 10 -
<b>1.5.3</b>	<b><i>Efectos del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub></i></b> .....	<b>- 10 -</b>
1.5.3.1	<i>Afectación a la salud humana.</i> .....	- 10 -
1.5.3.2	<i>Efectos sobre los ecosistemas.</i> .....	- 12 -
1.5.3.3	<i>Otros efectos</i> .....	- 13 -
<b>1.6</b>	<b>Mapa de uso del suelo del Ecuador</b> .....	<b>- 13 -</b>
<b>1.7</b>	<b>Modelación matemática</b> .....	<b>- 15 -</b>
<b>1.8</b>	<b>Georeferenciación</b> .....	<b>- 16 -</b>
1.8.1	<i>ArcGis 2010</i> .....	- 17 -
<b>1.9</b>	<b>Marco Normativo.</b> .....	<b>- 17 -</b>
1.9.1	<i>Normas de calidad del Aire</i> .....	- 17 -
1.9.2	<i>Norma Ecuatoriana</i> .....	- 18 -
1.9.3	<i>Normativa Internacional</i> .....	- 19 -
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>- 21 -</b>
2.1.	<b>Área de trabajo</b> .....	- 21 -
2.2	<b>Datos meteorológicos de la provincia de Chimborazo</b> .....	- 23 -
2.3	<b>Malla de emisiones</b> .....	- 24 -
2.4	<b>Modelo matemático</b> .....	- 24 -
2.5	<b>Viento</b> .....	- 27 -
2.6	<b>Spline</b> .....	- 27 -
<b>CAPITULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b> .....	<b>- 29 -</b>
3.1.	<b>Provincia de Chimborazo</b> .....	- 29 -
3.2	<b>Vientos</b> .....	- 31 -
3.3	<b>Tipo de suelo.</b> .....	- 33 -
3.4	<b>Material Particulado.</b> .....	- 34 -
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>- 62 -</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>- 63 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Composición de la atmósfera.....	-10-
<b>Tabla 2-1:</b> Fuentes de contaminación natural y sus componentes.....	-14-
<b>Tabla 3-1:</b> Principales componentes del PM no sedimentable.....	-18-
<b>Tabla 4-1:</b> Concentraciones para PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> , Norma de calidad del aire, 2011.....	-26-
<b>Tabla 5-1:</b> Concentraciones para PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> TULSMAN, 2012.....	-27-
<b>Tabla 6-1</b> Guía de valores para PM <sub>10</sub> según la OMS.....	-27-
<b>Tabla 7-1:</b> Guía de valores para PM <sub>2,5</sub> según la OMS.....	-28-
<b>Tabla 8-1:</b> Estándares de calidad para el aire ambiente de acuerdo a la EPA.....	-28-
<b>Tabla 1-2:</b> Coordenadas de las estaciones meteorológicas.....	-33-
<b>Tabla 2-2:</b> Velocidad umbral de fricción promedio dado en ms <sup>-1</sup> .....	-34-
<b>Tabla 1-3:</b> Tipo de suelos y área de estudio de la provincia de Chimborazo.....	-39-
<b>Tabla 2-3:</b> Velocidades de viento máximas obtenidas en cada mes.....	-41-
<b>Tabla 3-3:</b> Valores obtenidos de PM para cada tipo de suelo.....	- 43-
<b>Tabla 4-3:</b> Valores obtenidos de PM para cada mes del año 2015.....	-68-
<b>Tabla 5-3:</b> Promedios de valores obtenidos de PM para cada mes del año 2015.....	-69-

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Nivel I y II del mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador continental.....	-23-
<b>Gráfico 2-1:</b> Nivel III y IV del mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador continental...	-23-
<b>Gráfico 1-2:</b> Cantones de la provincia de Chimborazo.....	-30-

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Partes de la atmósfera.....	-11-
<b>Figura 1-3:</b> Principales Contaminantes Atmosféricos en el Ecuador.....	-13-
<b>Figura 1-3:</b> Valores obtenidos de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> para el año 2015.....	-70-

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1-1:</b> Mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador continental.....	-22-
<b>Mapa 1-2:</b> Mapa de cobertura y uso del suelo de la Provincia de Chimborazo.....	-31-
<b>Mapa 2-2:</b> Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.....	-32-
<b>Mapa 1-3:</b> Mapa de malla de emisiones de la provincia de Chimborazo.....	-40-
<b>Mapa 2-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Enero.....	-44-
<b>Mapa 3-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Febrero.....	-45-
<b>Mapa 4-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Marzo. ....	-46-
<b>Mapa 5-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Abril.....	-47-
<b>Mapa 6-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Mayo.....	-48-
<b>Mapa 7-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Junio.....	-49-
<b>Mapa 8-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Julio.....	-50-
<b>Mapa 9-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Agosto.....	-51-
<b>Mapa 10-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Septiembre.....	-52-
<b>Mapa 11-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Octubre.....	-53-
<b>Mapa 12-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Noviembre.....	-54-
<b>Mapa 13-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>10</sub> del mes de Diciembre.....	-55-
<b>Mapa 14-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Enero.....	-56-
<b>Mapa 15-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Febrero.....	-57-
<b>Mapa 16-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Marzo.....	-58-
<b>Mapa 17-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Abril.....	-59-
<b>Mapa 18-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Mayo.....	-60-
<b>Mapa 19-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Junio.....	-61-
<b>Mapa 20-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Julio.....	-62-

<b>Mapa 21-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Agosto.....	-63-
<b>Mapa 22-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Septiembre.....	-64-
<b>Mapa 23-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Octubre.....	-65-
<b>Mapa 24-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Noviembre.....	-66-
<b>Mapa 25-3:</b> Mapa de emisiones totales de PM <sub>2,5</sub> del mes de Diciembre.....	-67-

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Mapas de velocidad del viento para el año 2015

**Anexo 1 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Enero del 2015

**Anexo 2 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Febrero del 2015

**Anexo 3 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Marzo del 2015

**Anexo 4 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Abril del 2015

**Anexo 5 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Mayo del 2015

**Anexo 6 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Junio del 2015

**Anexo 7 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Julio del 2015

**Anexo 8 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Agosto del 2015

**Anexo 9 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Septiembre del 2015

**Anexo 10 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Octubre del 2015

**Anexo 11 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Noviembre del 2015

**Anexo 12 A.:** Mapa de velocidad del viento del mes de Diciembre del 2015

## RESUMEN

Se realizó la determinación de material particulado ( $PM_{10}$  Y  $PM_{2,5}$ ) producto de la resuspensión eólica en la provincia de Chimborazo durante el año 2015, mediante modelación matemática establecida por el informe WRAP (Dust Handbokk Countess Enviromental) constando de fórmulas matemáticas y sus respectivas condiciones numéricas, además de la utilización de datos meteorológicos de la velocidad del viento tomados durante todo el año 2015 en una secuencia de 3 veces al día. Aplicando el software ArcGis obteniendo la malla de emisiones con una extensión de  $1 \text{ Km}^2$  para cada celda y mediante la herramienta Spline que permite interpolar e intersecar los datos de velocidad del viento y el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del año 2014, además se determinó los valores del umbral de fricción para los diferentes tipos de suelo obteniendo los valores de  $PM_{10}$  y determinando el 15% de los resultados para los valores de  $PM_{2,5}$ . El tipo de suelo con mayor extensión fue el pastizal produciendo mayor resuspensión de PM con un total de  $17480,164 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mes}$ . El resultado de las emisiones totales de  $PM_{10}$  en resuspensión para el año 2015 fue de  $29236,245 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mes}$ , de los cuales el 59,76% fueron emitidas en el mes de agosto causado por los fuertes vientos que empiezan a tempranas horas del día, la baja nubosidad y por ser la estación más seca en el Ecuador. Alausí y Guamate fueron los más afectados con  $94,299 \text{ g mes}^{-1}$  para  $PM_{10}$  en el mes de agosto y el cantón menos afectado fue Guano que en la mayoría de meses excepto junio no se obtuvo emisiones de PM. Se concluye que este método de investigación nos dan un enfoque al mejoramiento de la calidad del aire que respiramos, debido a los graves efectos sobre la salud humana y el medio ambiente que el material particulado provoca necesitando estrategias para la lucha de la contaminación, presentando una dinámica para los compuestos atmosféricos pudiendo entender el transporte y transformación química.

**PALABRAS CLAVE:** <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <SIMULACIÓN MATEMÁTICA>, <MATERIAL PARTICULADO (PM)> <CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA> <RESUSPENSIÓN EÓLICA> <EMISIONES ATMOSFÉRICAS> <CHIMBORAZO (PROVINCIA)> <ARCGIS (SOFTWARE)>

## **ABSTRACT**

The particulate matter analysis ( $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ ) product of the wind power was carried out in 2015 at the Chimborazo province, using mathematical modeling established by the WRAP report, including mathematical formulae and their numerical conditions, in additions the use of wind speed meteorological data taken during the 2015 year in a sequence of 3 times a day. Using the ArcGis software, the emission mesh was obtained with an extension of  $1 \text{ km}^2$  for each cell and by the Spline tool that allows interpolating and linking wind speed data, the cover vegetation and land use map of 2014 year. Also values of the friction surface were determined for different soil types, obtaining the  $PM_{10}$  values and determining 15% as result for  $PM_{2.5}$ . The type of soil with longer length was grassland producing higher re-suspension of PM with a total of 17450, 164  $\text{g/m}^2$  a month. The result of total  $PM_{10}$  emissions in re-suspension for 2015 year was 29236,245  $\text{g/m}^2$  a month, of which 59,76% were issued in august caused by the strong winds that start at early hours of the day, the low cloudiness and for being the dries season in Ecuador. Consequently Alausí and Guamote were the most affected with 94,299  $\text{g/m}^2$  a month; in august and the least affected canton was Guano that in most of months except June did not get PM emissions. It is concluded, that this research method gives us a focus on improving the quantity of breathing air, due to the serious effects on human health and the environment that the particulate matter causes, needing strategies for pollution and providing power for atmospheric compounds being able to infer transport and chemical transformation.

**KEY WORDS:** <NATURAL ACIENCES> <MATHEMATICAL> <SIMULATION>  
<PARTICULATE MATTER (PM) > <AIR POLLUTION> <WIND RE-SUSPENSION>  
<ATMOSPHERIC EMISSIONS> <CHIBORAZO (PROVINCE) > <ARCGIS(SOFTWARE)>

## INTRODUCCIÓN

La atmósfera es un sistema muy complejo en el cual pueden ocurrir un sin número de procesos físicos y químicos implicando su transporte, dispersión y mezcla, con una gran variedad de contaminantes los cuales han sido emitidos de forma natural y antropogénicas pudiendo tener un mayor o menor grado de afectación, influenciadas por las condiciones meteorológicas que se encuentran durante su emisión. (Sánchez, 2013, p.31)

El movimiento que se produce en la atmósfera, horizontal y vertical, es uno de los puntos clave para predecir la posible contaminación que se puede dar, el movimiento horizontal o también llamado viento, es el medio en el que los contaminantes adoptan su misma velocidad y dirección por lo tanto es posible tener una idea de su comportamiento mediante una modelación matemática. (García, 2006, p. 20)

La modelación matemática es un método clásico de enseñanza que responde ciertos interrogantes de la ciencia basándose en fórmulas matemáticas y estadística, la utilización de una modelación matemática en el Ecuador y en si en lo referente al ámbito ambiental es relativamente nuevo, tanto para nuestro país como para países más desarrollados sin embargo, se está convirtiendo en un método muy popular y con grandes resultados para investigaciones especialmente atmosféricas. (WRAP, 2006, p.129)

La modelación matemática nos ayuda a enfocarnos en el mejoramiento de la calidad del aire que respiramos y a tomar estrategias para la lucha de la contaminación, así es como gran parte de los estudios de contaminación del aire has sido efectuados con éxito en el país e internacionalmente, pudiendo estudiar la dinámica que poseen los compuestos atmosféricos.

La necesidad que actualmente adquirimos sobre la conservación y el cuidado ambiental nos lleva a buscar métodos que nos permitan determinar o pronosticar posibles contaminantes o daños que se generen, pero la falta de recursos económicos es otro impedimento que poseemos en nuestro país por lo cual la modelación matemática es una técnica necesaria y acorde a nuestras necesidades y de bajos costos.

La gran cantidad de contaminantes atmosféricos y en si la contaminación atmosférica, es uno de los aspectos menos estudiados a nivel mundial, uno de los contaminantes principales es el material particulado tanto como  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , que mediante la modelación matemática, nos proporciona



una nueva técnica con la realización de mapas georeferenciados con las estimaciones obtenidas en la provincia de Chimborazo.

La provincia de Chimborazo posee diferentes tipos de suelo siendo un lugar idóneo para el estudio y estimación del PM, además su cercanía al volcán Tungurahua con la generación de ceniza, la cordillera de los andes con importantes elevaciones y la presencia de grandes e importantes industrias de la construcción, hacen que sean características claves para el estudio de estos compuestos.

La información obtenida aportara a la creación de un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos, el cual es un instrumento importante en la gestión ambiental y la creación de una política ambiental.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo apoya este proyecto ya que servirá para determinar el grado de contaminación en lo que respecta las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , obteniendo una información teórica y estimativa para poder compararla, compartirla y analizarla ya sea para nuevos proyectos investigativos o para la creación de normas y control de los límites permisibles con el único bien de proteger a la población de la provincia de Chimborazo.

## ANTECEDENTES

Existe una investigación titulada “Estimación de las emisiones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por resuspensión eólica en Ecuador durante el Año 2010” que con la ayuda de la Universidad San Francisco de Quito se efectuó por medio de modelación matemática en el cual se estimaron las emisiones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por resuspensión eólica en el territorio continental ecuatoriano durante el año 2010. (Sánchez, 2013, p.51)

Pero no obstante existen estudios sobre la contaminación atmosférica en las diferentes ciudades del país, como lo realizan en la ciudad de Quito mediante el REMMAQ (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de Quito) el cual trabaja desde el 5 de Noviembre del 2002, encargado de la estimación y monitoreo de la calidad del aire para contribuir con importante información para el Distrito Metropolitano de Quito, sin embargo a partir del 1 de Noviembre del 2010 este trabaja con la Secretaría del Ambiente del municipio de Quito. (EMOV, 2016)

El REMMAQ se basa en el IQCA (Índice Quiteño sobre la Calidad del Aire) el cual posee una valoración con una escala numérica del 0 al 500, demostrando con diferentes colores y conforme más alto sea la valoración más alta será la contaminación que se presenta. (EMOV, 2016). El REMMAQ ha obtenido información desde el año 2005 al año 2011 lo cual favoreció con informes sobre la calidad del aire y en ciertos años con inventarios de emisiones, con estos datos hemos podido determinar que los valores promedios anuales de material particulado tanto para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> sobrepasan los límites permisibles. (EMOV, 2016)

En la ciudad de Quito existió en el año del 2007 la Red Activa de Material Particulado (REPAR) compuesto por 5 muestreadores semiautomáticos los cuales realizaba muestreos de material particulado menor a 10 micras el cual se realizaba las 24 horas del día cada 6 días. (EMOV, 2016) En Esmeralda y Santo Domingo de los Tsáchilas también podemos encontrarlos en datos de estudios sobre material particulado sedimentable puesto a estudios que se han realizado sobre corrosión que conjuntamente con la Corporación para el mejoramiento del aire en Quito (CORPAIRE). (CORPAIRE, 2014, p. 6-10)

Cuenca posee la red de monitoreo de calidad del aire, llevada a cabo por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Cuenca y la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP) mediante 20 estaciones de monitoreo pasivo, ubicadas por toda la ciudad de cuenca las cuales miden: partículas sedimentables, ozono, xileno, tolueno, benceno, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y etil-benceno (EMOV, 2016). Con la

información obtenida en tiempo real y automáticamente se está trabajando en la realización del índice de calidad del aire para esta ciudad. Dando un inventario para el año 2007 con una emisión anual de PM<sub>10</sub> de 789 toneladas/año y para el año 2009 dio un total de 1099 toneladas/año. (Sánchez, 2010, p.21) En Riobamba en el año 2016 mediante convenio entre el GAD de Quito, el GAD de Riobamba y la CORPAIRE se realizó un estudio de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba. (MAE, 2010, p.3-9)

Previamente en el año 2014 se realizó un estudio sobre material particulado no sedimentable en el centro histórico de la ciudad de Riobamba, mediante la medición minuto a minuto y por 4 horas en 3 puntos estratégicos arrojando datos de una media de 1,76 veces para PM<sub>10</sub> frente a lo que decía el acuerdo 050 del MAE la misma que establecía que no se debía pasar de 100 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas. Mientras que la concentración de PM<sub>2,5</sub> fue 1,5 veces más a lo establecido por la normativa que no debía pasar los 50 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas. (Gaibor, 2014, p.XVI)

Otra ciudad que se suma al monitoreo de la calidad del aire es Ambato, efectuado en el año 2016 mediante convenio con la Secretaría del Ambiente del Municipio Metropolitano de Quito, para el monitoreo, análisis e investigación de contaminantes atmosféricos incluidos el material particulado sedimentable. (MAE, 2010, p.3-9) Otra entidad importante que contribuye al estudio y monitoreo de la calidad del aire es el Ministerio del Ambiente (MAE) con el Plan Nacional de Calidad del Aire (PNCA) la cual tuvo un importante aporte económico de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) que contribuyó al cumplimiento de lo que decreta la Constitución de la República del Ecuador. (MAE, 2010, p.12)

La escasa información del estado de la atmósfera, la falta de estudios, análisis o estimaciones han hecho que se incluya una exigente gestión de la calidad del aire que conjuntamente con adecuadas políticas ambientales y el desarrollo de unas líneas que servirán como estrategia para la protección tanto de la salud humana, ambiental y el patrimonio cultural para un buen vivir. (MAE, 2010, p.15)

El PNCA cuenta con tres programas los cuales son:

Programa I: Para el control y la vigilancia de la calidad del aire, el cual cuenta con la ejecución de 5 proyectos para el beneficio de los habitantes.

Programa II: Abarca el mejoramiento de la calidad del aire y los medios que eviten su deterioro, el cual cuenta con 6 proyectos a ejecutarse con el fin de tener una participación ciudadana de excelencia.

Programa III: Se basa en todas la medidas posibles que pueden implementarse cuando exista un nivel de alerta, en el momento de encontrarse una contaminación del aire y los momentos críticos que esté presente. (MAE, 2010, p.11)

Un dato importante del PNCA es que este medirá y estimara las concentraciones promedio anuales del material particulado tanto  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  así como también de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. (MAE, 2010, p. 19)

En el año 2015 se realizó un estudio de material particulado sedimentable en la ciudad de Ambato, para su posterior evaluación, acerca de la calidad del aire mediante un monitoreo pasivo, ubicando 6 puntos de muestreo en toda la ciudad. El método empleado para su análisis fue el de Bergerhoff para un tiempo de 30 días. (Villacrés, 2015, p. VI)

El análisis estadístico se lo realizo mediante el software Infostaf y se crearon mapas mediante interpolación gracias a ArcGis. Los resultados para 3 parroquias dieron valores superiores al límite de  $0,5 \text{ mg/cm}^2$  para 30 días establecido por la OMS: Huachi Chico con  $0,65 \text{ mg/cm}^2$ ; Izamba  $0,66 \text{ mg/cm}^2$  y Pishilata  $0,56 \text{ mg/cm}^2$  en un lapso de 30 días para cada punto. (Villacrés, 2015, p. VI)

## JUSTIFICACIÓN

El monitoreo y estudio de la contaminación atmosférica se viene realizando hace muy pocos años y en el Ecuador no ha sido la excepción, en la provincia de Chimborazo no existen datos actualizados sobre el estado del material particulado y el efecto que este puede producir debido a la resuspensión eólica y mucho menos a las leyes u ordenanzas vigentes las cuales podrán ser utilizadas para su monitoreo y determinación de la presencia de dichas partículas.

El único estudio realizado fue “Estimación de las emisiones de PM10 y PM2.5 por resuspensión eólica en Ecuador durante el Año 2010” en la Universidad San Francisco de Quito efectuado por modelación matemática en el cual se estimaron las emisiones de PM10 y PM2.5 por resuspensión eólica en el territorio continental ecuatoriano durante este año, para las categorías de uso de suelo: afloramiento rocoso, mina, grava, vegetación geliturbada, áreas erosionadas, suelo desnudo, plantaciones de maíz y pajonal dando un resultado de 9279,27 toneladas al año de PM10 y 1391,89 toneladas al año de PM2,5. Se aplicó el modelo de emisiones basado en literatura internacional, que considera la velocidad del viento, la velocidad umbral de fricción, la longitud de rugosidad aerodinámica y la precipitación como parámetros de influencia. (Sánchez, 2013, pp. 13-19)

El estudio es primordial puesto a sus diferentes grados de afectación fisiológica pudiendo ser irritantes, alérgenos, cancerígenos o tóxicos variando el nivel de exposición que se presente, siendo las poblaciones urbanas y rurales actualmente las que poseen mayor grado de afectación ya sea en países desarrollados o en vías de desarrollo. (OMS, 2006, p. 9)

Algunos datos alarmantes como el de la Organización mundial de la Salud (OMS), el cual publicó en el año 2006 un documento en el que se habla de algunos contaminantes atmosféricos, entre ellos el material particulado, recalando que es un contaminante común de la atmósfera y por ende implica un alto riesgo para la salud humana, cuando este supere los niveles máximos permisibles. (OMS, 2006, p. 10)

Según la OMS no existe un umbral, el cual ofrezca una protección para la salud humana ante los posibles efectos que causa el material particulado, debiéndose tomar en cuenta los valores mínimos encontrados para la realización de las diferentes normas que pueden ser establecidas, los estudios han demostrado que existe un aumento de entre el 4% a 8% de muertes prematuras a causa del PM. (OMS, 2006, p. 11)

Los efectos que presentan los ecosistemas debido a la afectación del material particulado de carácter liviano y de fácil arrastre pudiendo movilizarse cientos de kilómetros llegando así a depositarse en los suelos, cursos de agua o sobre la vegetación, perjudicando así la cadena trófica hasta los alimentos que consumimos. (Sánchez, 2013, p.30)

En la actualidad se está utilizando la modelación matemática para tratamiento y control de contaminación del aire, el software que se utilizo es Arc View 3.2 con datos obtenidos previamente como es velocidad del viento y la velocidad umbral de fricción como parámetros de influencia.

El WRF (Weather Research and Forecasting model) es un modelo de investigación que consiste en un sistema de pronóstico meteorológico mesoescalar numérico de última generación diseñado para realizar un pronóstico operacional como para uso en tareas de investigación atmosféricas, pudiendo adicionar la información actualizada y recibida por parte de estudios posteriores de los diferentes puntos de monitoreo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (Sánchez, 2013, p.51)

Chimborazo posee grandes y variadas extensiones de suelos, siendo una provincia idónea para nuestro estudio por lo que se hace necesario determinar las zonas de potencial de erosión eólica, utilizando como base dos mapas, uno de uso de suelo y otro de división de ecosistemas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las emisiones de partículas en suspensión ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) por movimiento eólico en la provincia de Chimborazo durante el año 2015.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las zonas de la provincia de Chimborazo con mayor afectación por material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) debido al movimiento eólico conforme al mapa de uso de suelo del Ecuador.
- Aplicar modelos matemáticos propuestos para estimar las emisiones de partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) en suspensión eólica en la provincia de Chimborazo.
- Aplicar el *software* y datos obtenidos para la creación del inventario de emisiones.
- Realizar mapas mediante el *software* ArcGis en el cual me permita combinar el grado de contaminación con respecto a las variables meteorológicas.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Atmósfera

La atmósfera es un elemento que rodea un cuerpo celeste, en nuestro caso a la tierra, la cual ha tenido que sufrir un cambio de miles de millones de años para poder ser como lo es hoy. (Jimeno, 2015)

Gracias a la atmósfera es posible que exista vida y el planeta sea habitable puesto que es un mecanismo de defensa, además que en esta ocurren un sinnúmero de procesos químicos y físicos destacando los fenómenos meteorológicos. (Jimeno, 2005)

Característico por tener una densidad no uniforme, varía con la altitud, al mismo tiempo controla la temperatura, la cantidad de radiación que entra o sale, la cantidad de ozono, protege a los seres vivos que habitamos la tierra de la radiación UV, etc. (Jimeno, 2005)

#### 1.1.1 Composición de la atmósfera:

**Tabla 1-1:** Composición de la atmósfera.

Componentes de la atmósfera	Nomenclatura química	Porcentaje en volumen (%)
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78
Oxígeno	O <sub>2</sub>	21
Argón	Ar	0,93
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,03
Neón	Ne	0,018
Helio	He	0,005
Criptón	C	0,001
Hidrógeno	H <sup>+</sup>	0,00006
Ozono	O <sub>3</sub>	0,00004
Xenón	Xe	0,000008
Vapor de Agua (varia)	H <sub>2</sub> O	0.0001

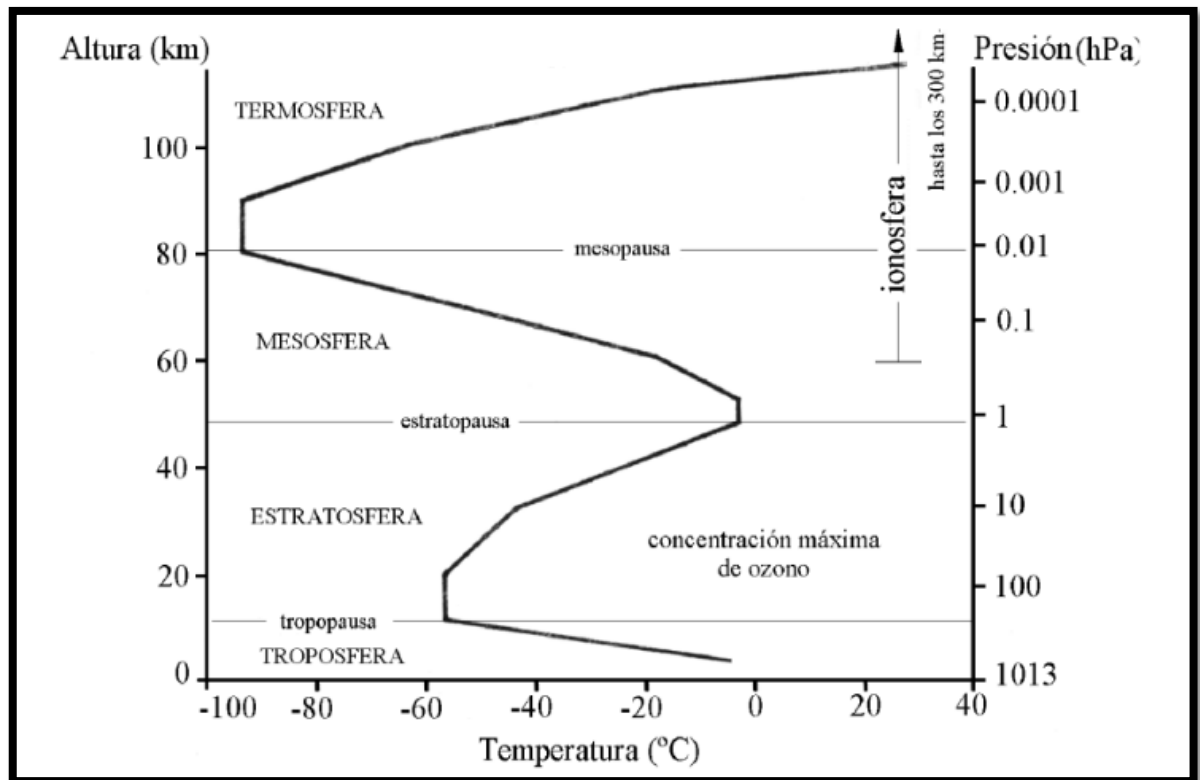
Fuente: La guía química, 2010.

Realizado por: BARBERÁN, Daniela. 2017



### 1.1.2 Partes de la Atmósfera

La atmósfera se divide en una serie de componentes los cuales poseen rasgos, funciones e importancias siendo conformada como se lo observa en la figura 1-1: Partes de la atmósfera;



Fuente: Casas Carmen y Alarcón Martha, Meteorología y clima, p.15.

Figura 1-1: Partes de la atmósfera.

#### 1.1.2.1. Tropósfera.

Es la primera capa con más cercanía a la corteza terrestre está constituida principalmente por aire, puede alcanzar de los 17 hasta los 20 Km desde el nivel del mar, una las características claves de la tropósfera son la temperatura ya que va disminuyendo conforme se eleva siendo la parte más cálida la que está cerca de la tierra. La presión y la densidad van disminuyendo conforme aumenta su altitud. (Nesta, 2009)

En esta capa debemos concentrar nuestra atención puesto que es donde realizaremos nuestros estudios y es en ella donde se produce la mayoría de procesos meteorológicos llevados a cabo, la gran importancia también radica en los movimientos verticales producto del calor.

La tropósfera está compuesta principalmente de vapor de agua y de las partículas que se encuentran en suspensión, las nubes también se encuentran en casi su totalidad en esta capa. El límite entre la tropósfera y la estratósfera se llama tropopausa. (Nesta, 2009)

#### *1.1.2.2 Estratósfera.*

Es la capa contigua a la tropósfera, puede alcanzar hasta los 50 km de altura, su importancia radica en que los aviones vuelan en esta capa. Su temperatura va aumentando desde -55 °C o -50°C hasta llegar a los 0 °C o incluso superarlo. Contiene una cantidad más considerable de nitrógeno que la capa anterior, además de poseer ozono el cual cumple una función importante que es la absorción de la radiación ultravioleta que emite el sol. (Nesta, 2009)

Los movimientos verticales son mínimos sin embargo los movimientos horizontales son más abundantes. No existe mucha concentración de vapor de agua puesta que la cantidad de nubes presentes en esta capa son mínimas. La capa que divide a la estratósfera de la mesósfera se la denomina como estratopausa. (Nesta, 2009)

#### *1.1.2.3 Mesósfera*

La mesósfera alcanza una altura de entre 80 a 85 km, su temperatura empieza a disminuir acorde va acrecentando su altitud. Uno de los procesos más importantes que ocurren en esta capa es la ionización y la formación de turbulencias. Existe una baja densidad en esta capa. (Nesta, 2009)

#### *1.1.2.4 Termósfera o ionósfera*

Esta capa puede llegar hasta los 500 o sobrepasar los 600 km de altura, es una capa en la cual están presente átomos cargados eléctricamente es por eso que propicia la transmisión de señales de radio y televisión así como también para la actividad de los satélites. La mayoría de radiación UV y rayos X son absorbidos por esta capa, así también origina la aurora boreal. La capa superior se denomina termopausa siendo su límite superior. (Nesta, 2009)

#### *1.1.2.5 Exósfera*

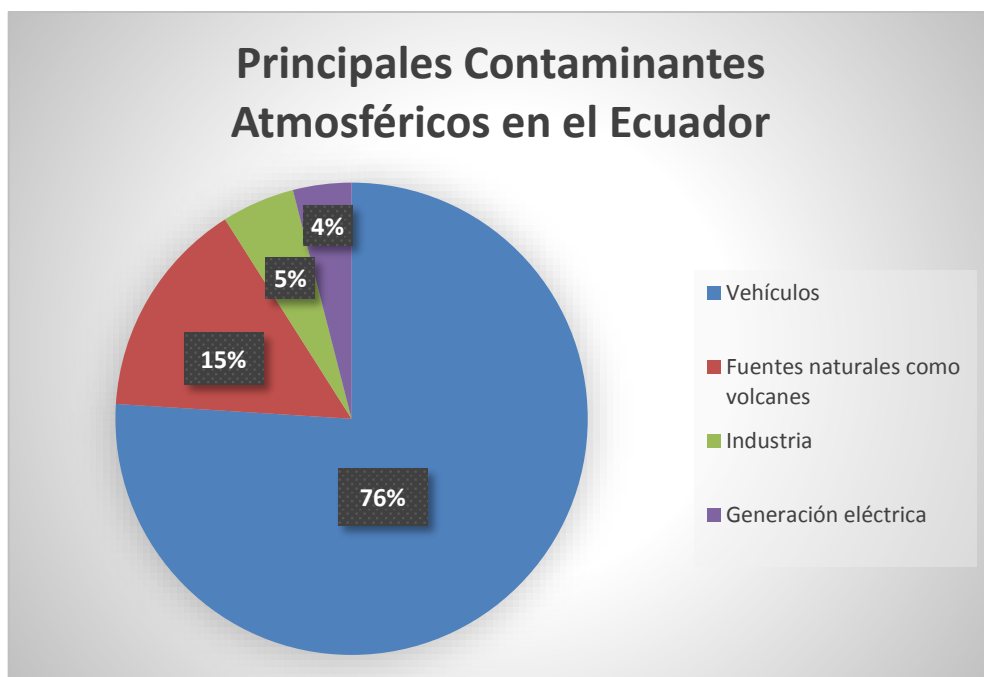
Última capa de la atmósfera donde las condiciones son extremas puesto que tiene contacto directo con el espacio exterior y en donde se encuentra una gran cantidad de gases ligeros, por medio de estas las moléculas escapan hacia el exterior. (Nesta, 2009)

## 1.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica ha existido desde la propia creación de nuestro planeta por la actividad volcánica, emisiones de gases y procesos geológicos que se producen naturalmente, por esta razón las primeras especies en habitar la superficie de la tierra eran de forma anaeróbica puesto que transformaban dichos gases que en muchas ocasiones eran altamente tóxicos para su supervivencia. (Jimeno, 2005)

Se define también como la presencia en nuestro aire de sustancias, partículas, moléculas o alguna forma de energía que cause un daño leve o grave a la salud tanto humana, animal, vegetal o sean bienes de forma inmediata o a largo plazo. Estas sustancias, partículas, moléculas o formas de energía pueden ser el resultado de actividades humanas o el resultado de procesos naturales. (MAE, 2010, p.15)

Debido a que nuestro país está en vías de desarrollo las ciudades están en constante crecimiento lo que implica el crecimiento de la contaminación atmosférica. Las fuentes de contaminación en el país son: (CORPAIRE 2014, pp. 9-21)



Fuente: CORPAIRE, Quito, 2014.

Figura 1-1: Principales contaminantes atmosféricos en el Ecuador.

### ***1.2.1 Fuentes de Contaminación atmosférica***

Las fuentes contaminantes para la atmósfera están claramente definidas en dos:

- Las naturales.
- Las antropogénicas (actividad humana).

#### ***1.2.1.1 Fuentes Naturales***

Estas fuentes siempre han estado presentes en nuestro planeta ya sea con mayor o menor intensidad pudiendo ser eventos meteorológicos, geológicos o en sí procesos metabólicos, se hallan en procesos emitidos por los ecosistemas pudiendo ser erupciones volcánicas, incendios forestales, huracanes, tornados, emisiones de gases de mares u océanos. Todos estos eventos naturales producen en cierta cantidad contaminantes, los cuales pueden además contener partículas que quedan en suspensión. (Chalacán, 2009, p. 27)

Lo notable de las fuentes naturales es que por su generación la tierra y en sí la atmósfera tiene la capacidad de autodepurar dichos contaminantes que por lo general no suelen permanecer por mucho tiempo, causando una afectación en cantidades menores.

**Tabla 2-1:** Fuentes de contaminación natural y sus componentes.

<b>Fuente Natural</b>	<b>Contaminante</b>
Volcanes	Material particulado, óxido de azufre.
Incendios forestales	Material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno.
Vendavales	Polvos
Plantas (Vivas)	Hidrocarburos, polen.
Plantas (En descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno.
Suelo	Virus, polvo.
Mar	Partículas de sal.

**Fuente:** La Geología, 2013.

**Realizado por:** Ing. Luis Guillermo Morales.

### *1.2.1.2 Fuentes Antropogénicas*

También conocidas como fuentes artificiales provocadas por el hombre. Los seres humanos son más exigentes en su calidad de vida lo que produce la aparición de nuevas fuentes de contaminación y una sobre explotación de recursos naturales. Las emisiones más importantes son emisiones industriales, emisiones domésticas y emisiones provocadas por el transporte, estas tienen como particularidad su movilidad y distribución espacial. Se clasifican en: (Chalacán, 2009, p. 30)

- Fuentes fijas o puntuales.
- Fuentes móviles.

#### *1.2.1.2.1 Fuentes fijas o puntuales.*

Existen millones de estas fuentes alrededor del mundo y son aquellas que se encuentran en un lugar fijo o en una área identificable, en la cual se esté realizando alguna actividad y producto de la misma se producen emisiones contaminantes hacia la atmósfera como pueden ser refinerías de petróleo, extractoras de aceite, plantas de energía industrial, construcciones, ganadería, arena, grava, procesos de construcción, molienda de piedra, fabricación de cemento, procesos de minería, otros. (García, 2006, p. 13)

#### *1.2.1.2.2 Fuentes Móviles.*

Son aquellas emisiones que pueden ser emitidas en cualquier lugar que en su mayoría operan con un motor a base de combustión, combustión a nivel industrial con quema de carbón, polvos de carretera, extracción de aceites, partículas emitidas provocadas por el uso y desgaste de frenos y llantas de medios de transporte, resultando emisiones de contaminantes hacia la atmósfera entre estos los más comunes son los medios de transporte. (García, 2006, p. 15)

## **1.3 Condiciones atmosféricas.**

### ***1.3.1 El Aire***

Mezcla gaseosa de carácter homogéneo que está alrededor del planeta tierra por efecto de la gravedad y la cual está constituida normalmente cuando este no está contaminado por: 79 % de nitrógeno, 20 % de oxígeno y un 0.43 % de Argón, el residual es por otras sustancias como vapor

de agua, ozono entre otros es decir tiene casi la misma composición de la atmósfera como lo demostramos en la Tabla 1.1. (MAE, 2010)

Fundamentalmente el aire debe tener esta composición sin embargo puede presentar otros tipos de compuestos que sean contaminantes o no, lo ideal es que todos estén dentro de los límites permisibles y sean seguros para la población humana.

El aire es el elemento vital para todos los seres vivos puesto que mediante procesos esenciales para el funcionamiento fisiológico perpetuamos nuestra existencia, así los seres humanos y animales inhalamos oxígeno y exhalamos CO<sub>2</sub>, mientras que las plantas absorben CO<sub>2</sub> y nutrientes del suelo en un proceso llamado fotosíntesis con ayuda de la luz solar expulsan oxígeno, manteniendo así un equilibrio en nuestro planeta. (García, 2006, p. 18)

### ***1.3.2 Precipitaciones***

Es un evento meteorológico el cual consiste en la condensación de partículas de agua, sea en forma líquida como la lluvia o hasta en su forma sólida como la nieve o granizo, el cual cae hacia la tierra llegando así hasta la superficie terrestre. (INAMHI, 2015, p. 2)

La precipitación es parte fundamental del ciclo hidrológico del agua, por medio del cual el planeta recibe la mayor concentración de agua dulce, se lo expresa en mm (milímetros) y se considera la cantidad de agua caída en el pluviómetro de un milímetro, igual a un litro de agua por metro cuadrado. (INAMHI, 2015, p. 2)

### ***1.3.3 Radiación solar***

Son aquellas radiaciones electromagnéticas que son emitidas al espacio por el sol y que llegan hasta la tierra pasando por las diferentes capas de nuestra atmósfera y llegar así hasta la superficie terrestre, es una manera de transportar energía la cual no llega en su totalidad a la superficie terrestre puesto que cierta cantidad es absorbida por los gases que componen las capas de la atmósfera. La unidad de medida es el W/m<sup>2</sup> (Vatio por metro cuadrado). (INAMHI, 2015, p. 4)

### ***1.3.4 Viento***

Es aquella corriente de gases que pueden tener cierta velocidad y dirección, la velocidad del viento es indispensable en contaminación atmosférica puesto que es un indicador de hacia dónde y en qué tiempo pueden llegar los contaminantes a ciertos puntos o recorrer ciertas distancias este se

lo expresa en m/s (metros por segundo). También se lo expresa como el viento existente en la superficie terrestre que puede tener un movimiento horizontal que actúa como medio transportador. (INAMHI, 2015, p. 5)

#### **1.4 Emisiones fugitivas**

Las emisiones fugitivas se producen debido a que existe una gran cantidad de partículas naturales o antropogénicas las cuales sufren una serie de movimientos producto de las fuertes perturbaciones de aire en lugares abiertos. (García, 2006, p. 24)

Es decir, que podemos hablar que se produce una resuspensión eólica del material particulado tomado en cuenta ciertas características como son la humedad del suelo, dirección del viento, precipitaciones u otras condiciones meteorológicas las cuales pueden intervenir. (Sánchez, 2010, p. 16)

#### **1.5 Material Particulado (PM)**

El PM son todas aquella sustancias presentes en nuestra atmósfera ya sea de manera natural o provocada por algún tipo de contaminación con excepción del agua en estado puro, se los puede encontrar ya sea en forma líquida o sólida en una corriente gaseosa por eso varían en tamaño, composición y concentración según su fuente emisora debido a que son una mezcla muy compleja tanto de compuestos orgánicos e inorgánicos de composición tanto química y física inconstante que nos da como resultado la mayoría de tiempo un efecto nocivo para el medio ambiente y la salud humana. La afectación del material particulado es muy grave y se lo puede realizar a nivel local, regional o global. (Sánchez, 2010, p. 18)

##### ***1.5.1 Clasificación según su Proceso de formación***

Entre los diferentes tipos de PM constan:

###### ***1.5.1.1 Partículas Primarias.***

Las partículas primarias son todas aquellas que se encuentran en nuestra atmósfera en la misma forma que fueron emitidas sin cambio alguno. (García, 2006, p.17)

### 1.5.1.2 Partículas Secundarias.

Las partículas secundarias son todas aquellas partículas existentes en nuestra atmósfera ya sea después de ser liberadas o cuando estas han llegado a la atmósfera superior los cuales por diversos fenómenos como factores meteorológicos, condensaciones, luz solar, precipitaciones o reacciones químicas o la simple presencia y combinación con otras sustancias presentes en la atmósfera, que han sufrido un cambio o alteración de la forma inicial como fueron emitidas. (García, 2006, p.17)

### 1.5.2 Clasificación de acuerdo con el diámetro que posee.

#### 1.5.2.1 PM Sedimentable

El PM sedimentable que es aquel cuyo diámetro es mayor a 10  $\mu\text{m}$ , se originan de materia más grande como rocas o del mismo suelo, son de fácil sedimentación es decir no recorren grandes distancias por el peso y el tamaño que poseen por ende se los encuentra más frecuentemente en áreas rurales por ende se las considera como una fuente de emisión secundaria.

Entre algunos compuestos del PM sedimentable constan principalmente aluminio, calcio, cloruro de sodio (proveniente del mar), silicio, ceniza. (García, 2006, p.19)

#### 1.5.2.2 PM no sedimentable

También conocido como PM en suspensión están constituidas por  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , se las considera así por su pequeño tamaño por lo cual estas son propensas a recorrer grandes distancias desde su fuente de origen, por lo que son consideradas como fuente de emisión de material fugitivo. (García, 2006, p.20)

Entre los elementos que conforman los PM constan:

**Tabla 3-1:** Principales componentes del PM no sedimentable.

<b>PM &lt; 10<math>\mu\text{m}</math></b>	<b>PM &lt;2.5<math>\mu\text{m}</math></b>
Metales	Sulfatos
Polvo del suelo	Nitrato
Carbono orgánico	Amonio
Polvo de mar	Negro de Carbono
Polen	Metales
Esporas	Carbono orgánico



Nitrato	Ceniza
Ceniza	Dióxidos de azufre
Cemento	Sílice
Hollín	
Moho	

**Fuente:** Principales componentes de PM, 2013.

**Realizado por:** Ing. Cristina Sánchez.

#### *1.5.2.2.1 PM<sub>10</sub>*

El PM<sub>10</sub> es aquel cuyo diámetro es menor e igual a 10 µm se lo considera como la fracción gruesa de material particulado por ejemplo la fuente más común de PM<sub>10</sub> es a causa de la combustión vehicular. Son consideradas como no muy dañinas para la salud humana puesto que por su tamaño no son colectadas en el sistema respiratorio. (García, 2006, p.17)

#### *1.5.2.2.2 PM<sub>2,5</sub>*

También conocido como la fracción fina, el PM<sub>2,5</sub> cuyo diámetro es menor e igual a 2.5 µm es el más peligroso y tóxico debido a que por su tamaño puede llegar a producir graves daños a la salud humana, entre algunos. (OMS, 2006, p. 8)

### ***1.5.3 Efectos del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>***

Existen gran cantidad de efectos debido a este tipo de contaminantes ya sea a la salud humana, afectación a la flora, afectación a la fauna e incluso afectación a los materiales u objetos. (OMS, 2006, p. 10)

#### *1.5.3.1 Afectación a la salud humana.*

Es el factor más importante por el cual estamos realizando este estudio en la provincia de Chimborazo ya que el material particulado puede llegar a ser mortal si no es controlado con medidas de prevención.

Uno de los primeros episodios relacionados con la contaminación atmosférica por PM se dio en el año 1952 evento producido en Londres cuando se produjo una extraña neblina producto del cual se elevó la tasa de mortalidad de los habitantes alcanzando las 4000 muertes los cuales presentaron enfermedades del sistema respiratorio. (García, 2006, p.19)

La problemática mundial sobre el PM no ha sido del todo tomada en cuenta ya que para la afectación a nivel humana no se ha determinado aún el umbral, puesto que aun en mínimas cantidades el PM produce daños en la salud. (OMS, 2006, p. 9)

Entre las afectaciones más graves que causa el PM en la salud humana es referente con el sistema respiratorio puesto que la función principal de este es el de absorber oxígeno empezando por la nariz para pasar por la faringe llegar hasta la tráquea, avanza así los pulmones para terminar en los bronquios primarios, secundarios y terciarios hasta llegar finalmente a los bronquiolos y los alvéolos que son los elementos más pequeños, sensibles e importantes del sistema para eliminar dióxido de carbono limpiando o purificando al cuerpo de ser humano. (García, 2006, p.20)

El sistema respiratorio es muy perceptivo debido a que en su funcionalidad fisiológica posee un recubrimiento pegajoso gelatinoso el cual es el encargado de atrapar las sustancias grandes que pueden ingresar a nuestro cuerpo por lo cual se puede decir que este sistema es el que posee un mayor e íntimo contacto con el aire y los contaminantes que pueden existir en este. (García, 2006, p.17)

Desde el simple hecho que se inhala aire en grandes cantidades de entre 10000 y 12000 litros de aire y con ello miles de partículas como contaminantes presentes en la atmósfera y material particulado están entre los efectos más nocivos que puede presentar el sistema respiratorio como irritación en boca, nariz y ojos y en el tracto respiratorio que pueden presentar síntomas como enrojecimiento, irritación, presencia de tos y lagrimeo, estornudos, en su gran mayoría hinchazón. (García, 2006, p.16)

Entre otras enfermedades graves que pueden originar el PM están la rinitis, sinusitis, bronquitis, asma, fibrosis quística, alergias dando lugar a la conjuntivitis alérgica, alveolitis, afectación del sistema inmunológico, trastornos hereditarios, laringotraqueitis, bagazosis. (García, 2006, p.17)

Entre algunos efectos cancerígenos que son propensos a sufrir se encuentran el cáncer pulmonar, a la piel o incluso a la nariz, ya sea como promotoras de cáncer o directamente como cancerígenos directos. (García, 2006, p.17)

Dependiendo del tiempo de exposición cuando han sido por tiempos prolongados se puede dar el caso de aparición de enfermedades crónicas como rinitis crónica, traqueobronquitis, asma bronquial, bronquitis crónica. (García, 2006, p.20)

El PM no solo puede afectar el sistema respiratorio además puede llegar a órganos dependiendo el tipo de contaminante que se encuentre en la composición del PM por ejemplo partículas de magnesio como cadmio son muy peligrosos puesto que llegan a afectar los riñones y los huesos, las partículas de plomo afectan las células sanguíneas, el sistema nervioso y periférico. (García, 2006, p.18)

Otro órgano importante que sufre una severa afectación por el PM es la piel ya que está expuesta diariamente al aire ambiente en donde miles de partículas pueden incrustarse provocando enrojecimiento, dermatitis, irritación, comezón (García, 2006, p.19)

Uno de los factores para determinar la población más vulnerable es la edad puesto que la población más susceptible son los niños y la tercera edad, así como las personas que presentan enfermedades cardio respiratorias previamente. (García, 2006, p.17)

#### *1.5.3.2 Efectos sobre los ecosistemas.*

El material particulado no solo afecta a la salud humana sino a los ecosistemas de forma severa puesto que este material tiende a depositarse, afectando a la productividad, por lo cual podemos decir que también afecta a la agricultura, cuando el material en su composición puede tener metales se deposita sobre el suelo disminuye su fertilidad ya que el material rico en nutrientes es removido.

Otra afectación se produce en las corrientes hídricas de agua dulce y salada ya que dependiendo del tamaño que puedan poseer las partículas estas redistribuyen la energía que ha sido absorbida por los cuerpos de agua. (Sánchez 2010, p. 32),

Lo más importante es el tamaño de la partícula que en si la cantidad que puede existir por ejemplo las partículas grandes tienen la capacidad de absorber más cantidades de energía por lo cual ayudan al incremento de la temperatura de la atmósfera, mientras que las partículas pequeñas aumentan el grado con el cual se refleja la energía de la atmósfera. (Sánchez 2010, p. 35),

Cuando se deposita el material particulado sobre los glaciales se incrementa la pérdida de los mismos especialmente durante los últimos años por lo cual se le atribuye también que es un gran responsable del cambio climático que ha sufrido el planeta por el desequilibrio térmico que se genera. (Sánchez 2010, p. 32),

### *1.5.3.3 Otros efectos*

Se puede mencionar que el material particulado ha provocado daños incluso en los objetos materiales que pueden estar a la intemperie puesto que se ha comprobado que se genera corrosión. Otro efecto grave es la disminución de la visibilidad en grandes ciudades lo cual puede generar graves accidentes de tránsito, malestar a los peatones, entre otros. (Sánchez 2010, p. 40).

## **1.6 Mapa de uso del suelo del Ecuador.**

Según el acuerdo interministerial número 200 entre el MAE y el MAGAP se procede a realizar el mapa de cobertura y uso de suelo del Ecuador continental del año 2013 – 2014 el cual consta de 5 artículos en donde se decretan las obligaciones, deberes y derechos para realizar y publicar este trabajo. (MAGAP, 2016, p. 5)

El mapa de uso de suelo del Ecuador es un instrumento importante para nuestro proyecto técnico creado por el MAE, MAGAP y de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), el cual se lo encuentra en escala 1: 100 000, el sistema de coordenadas es WGS 1984 UTM Zona 17S, con una proyección Mercator Transversal, localizado en la página del MAGAP entrando por la sección de Sistema de Información del Agro, publicando así: (MAGAP, 2016, p. 10)

- El mapa Nacional de Cobertura de Uso de Suelo.
- Mapas provinciales de Cobertura de Uso de suelo.

Se los encuentra en varios formatos con sus geodatabase ArcGis, se utilizó de manera principal para la elaboración del mapa sistemas de información geográfica y sensores remotos, así también con la ayuda de imágenes satelitales y la generación de cartografía temática. (MAGAP, 2016, p.7)

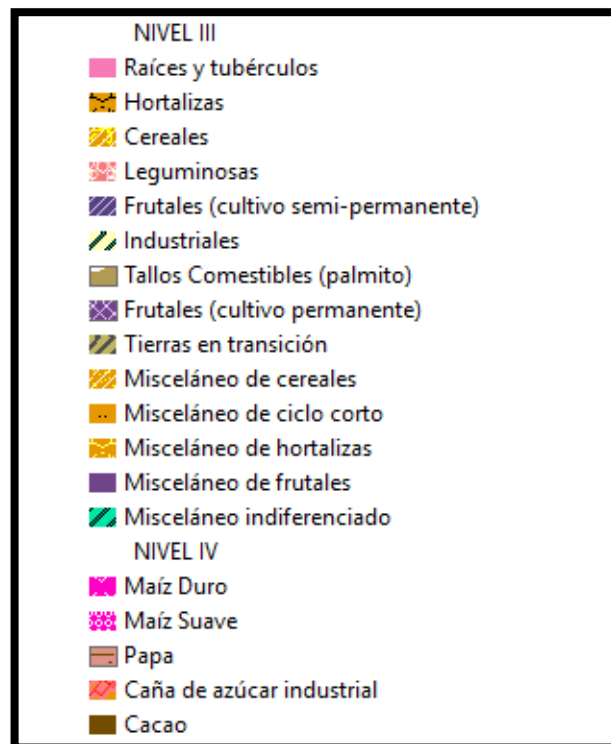




**Gráfico 2-1:** Nivel I y II del mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador continental.

**Realizado por:** MAGAP

**Fuente:** Sinagap, MAGAP, 2015.



**Gráfico 3-1:** Nivel III y IV del mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador continental.

**Realizado por:** MAGAP

**Fuente:** Sinagap, MAGAP, 2015.

### 1.7 Modelación matemática

Se puede describir como una manera de investigación antigua puesto que la ciencia empezó por la curiosidad y de ahí se derivó la investigación sin embargo es un nuevo y poco usado método de enseñanza, en cuanto a la contaminación atmosférica nos ayuda a determinar y predecir

concentraciones de contaminantes y fenómenos que pueden ocurrir. Es uno de los métodos más eficaces para países en vías de desarrollo puesto que parte de información incompleta y con el simple uso de ecuaciones matemáticas. (WRAP, 2011, p.129)

En los últimos años ha incrementado el uso de la modelación matemática tanto para la ingeniería como para la tecnología, la base de la modelación matemática es la estadística como las teorías existentes de la probabilidad teniendo en cuenta las situaciones reales. (WRAP, 2011, p.129)

Para una exitosa modelación matemática se debe seguir una secuencia definida en la cual la parte clave es la recolección o la adquisición de datos los cuales pueden ser adquiridos de diferentes formas por ende un estudio será mejor y valido sabiendo desde donde se obtienen los datos y que sean verificados, claros y concisos. (WRAP, 2011, p.129)

Entre las ventajas de la modelación matemática es que es un método más rápido dependiendo del área que se desea analizar y en cuanto a la parte económica es menos costoso en especial para la estimación de contaminación atmosférica. (WRAP, 2011, p.129)

La modelación matemática nos da cierto grado de confianza para la toma de decisiones o para la prevención de potenciales riesgos tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Ayudando a la creación de protocolos, leyes u ordenanzas los cuales ayuden al control y prevención en este caso de contaminación atmosférica. (WRAP, 2011, p.129)

## **1.8 Georeferenciación**

Método por el cual se logra la localización o posicionamiento espacial en torno a toda la superficie terrestre mediante la utilización de un sistema complejo de coordenadas y datos determinados, es decir la utilización de coordenadas geográficas las cuales son indispensables por la latitud y longitud. (INEC, 2015, 6)

Actualmente en este sistema se puede trabajar con un sinnúmero de aplicaciones como son los objetos ráster o en otras palabras mapas en alta resolución por sus imágenes o como los objetos vectoriales que son aquellos que utilizan modelos como líneas, puntos, poli-líneas, otros. (INEC, 2015, 7)

Hay que tomar en cuenta que para el uso y correcto funcionamiento de estos programas se requiere de ciertas especificaciones, así como su correcta instalación y permisos de uso. En la actualidad

existe una serie de complejos y completos programas con los cuales se pueden trabajar para una adecuada georeferenciación como lo son: (INEC, 2015, p.6)

### ***1.8.1 ArcGis 2010***

Es un sistema de información geográfica mediante un software el cual trabaja con un sistema de georeferenciación geográfica, el cual se encarga de la creación, edición, boceto, captura, impresión y publicación de trabajos o proyectos realizados con información geográfica, análisis espaciales, análisis hidrológicos. (ArcGis, 2016, 3).

Es una herramienta muy útil para la realización de mapas que es lo más utilizado en nuestro proyecto. Posee una gran serie de aplicaciones, y de versiones, el nuestro es ArcGis 2010 con el cual pudimos organizar, realizar, encontrar y usar mapas para nuestro estudio de material particulado. (ArcGis, 2016, 4).

Actualmente posee un acceso por los buscadores de internet ya que el contenido de ArcGis solamente sirve para este programa y la comunidad que lo usa. (ArcGis, 2016, 3).

ArcView es uno de sus herramientas más importantes el cual se usa para cartografía, ArcMap es una aplicación de escritorio hay que considerar que existen versiones gratuitas sin embargo los precios varían para la versión completa. (ArcGis, 2016, 10).

## **1.9 Marco Normativo.**

### ***1.9.1 Normas de calidad del Aire***

Una norma de calidad del aire no es aquella que se rige en un valor o concentración estimada, sino es aquella que se preocupa por la salud y bienestar de los seres vivos como son los animales, vegetación y seres humanos y las consecuencias a largo o corto plazo que se pueden presentar determinado por estudios actuales.

Para poder tener un estándar óptimo de calidad del aire se requiere una serie de estudios los cuales hayan determinado la relación entre la concentración del contaminante, los tiempos de exposición y los daños producidos.



### 1.9.2 Norma Ecuatoriana

- El 4 de abril del 2011 el MAE firma el acuerdo No 050 para la Norma de Calidad del Aire Ambiente o a Nivel de Inmisión Libro IV Anexo 4, este actualmente no está en vigencia pero cabe recalcar que posee valores y normas para material particulado. (MAE, 2010).

Tomando en cuenta como contaminante atmosférico al material particulado tanto como para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, partículas sedimentables, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono. (MAE, 2010).

Para el PM<sub>10</sub> dice que el promedio aritmético que debe tener su concentración durante un año de todas las muestras recolectadas no debe pasar más de 50 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para el monitoreo en un día no debe pasar de 100 µg/m<sup>3</sup>. (MAE, 2010).

Para el PM<sub>2.5</sub>, dice que el promedio aritmético que debe tener su concentración durante un año de todas las muestras recolectadas no debe pasar más de 15 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para el monitoreo en un día no debe pasar de 50 µg/m<sup>3</sup>. (MAE, 2010).

Este toma en cuenta las concentraciones de alerta, alarma y emergencia para:

**Tabla 4-1:** Concentraciones para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, Norma de calidad del aire, 2011.

PM	Alerta	Alarma	Emergencia
PM <sub>10</sub> (dado para 24 horas)	250 µg/m <sup>3</sup>	400 µg/m <sup>3</sup>	500 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub> (dado para 24 horas)	150 µg/m <sup>3</sup>	250 µg/m <sup>3</sup>	350 µg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Ministerio del Ambiente Ecuador, 2011.

**Autor:** Norma Calidad del Aire.

- El Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Anexo 4 de Calidad del Aire creado en el año 2012 presenta la Norma de calidad del aire en el que estipula para el material particulado debe tener: (TULSMA, 2012, p. 3-5)

Para el PM<sub>10</sub> dice que el promedio aritmético debe tener su concentración durante un año de todas las muestras recolectadas no debe pasar más de 50 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para el monitoreo en un día no debe pasar de 150 µg/m<sup>3</sup> el cual no deberá exceder más de 2 veces durante el año. (TULSMA, 2012, p. 7)

Para el PM<sub>2.5</sub>, dice que el promedio aritmético debe tener su concentración durante un año de todas las muestras recolectadas no debe pasar más de 15 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para el monitoreo

en un día no debe pasar de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual no deberá exceder más de 2 veces durante el año. (TULSMA, 2012, p. 7)

Este toma en cuenta las concentraciones de alerta, alarma y emergencia para:

**Tabla 5-1:** Concentraciones para  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  TULSMA, 2012.

<b>PM</b>	<b>Alerta</b>	<b>Alarma</b>	<b>Emergencia</b>
$\text{PM}_{10}$ (dado para 24 horas)	$250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**Fuente:** Ministerio del Ambiente Ecuador, 2012.

**Autor:** TULSMA

- Actualmente la Reforma del libro IV del texto unificado de Legislación Secundaria emitida en Quito el 4 de mayo del 2015, está en vigencia en el territorio ecuatoriano pero no se refiere en ningún término, ley, método o forma de monitoreo sobre el control de material particulado, ni aporta ningún valor establecido para su control y monitoreo.

### **1.9.3 Normativa Internacional.**

La OMS ejecuta una serie de guías de importancia mundial las cuales son una gran referencia a los efectos adversos que pueden causar daños a la salud humana de los diferentes componentes estudiados en este caso sobre la calidad del aire, los cuales tienen gran variedad a nivel de diferentes países y la manera que estos los adopten tanto a corto como a largo plazo. (OMS, 2006, p.8)

La OMS nos ayuda con valores guías para determinar la concentración de  $\text{PM}_{10}$  y de  $\text{PM}_{2.5}$  reconociendo que solamente son valores de referencia de acuerdo a ciertos informes recolectados en algunos países puesto que aún no se ha tenido un estudio a fondo de los umbrales para  $\text{PM}$  dando: (OMS, 2006, p.10)

**Tabla 6-1:** Guía de valores para  $\text{PM}_{10}$  según la OMS.

<b>Tipo de PM</b>	<b>Valor</b>	<b>Medida</b>
$\text{MP}_{10}$	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Media Anual
$\text{MP}_{10}$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Media de 24 horas

**Fuente:** OMS, 2006.

**Autor:** OMS.

**Tabla 7-1:** Guía de valores para PM<sub>2.5</sub> según la OMS.

Tipo de PM	Valor	Medida
MP <sub>2.5</sub>	10 µg/m <sup>3</sup>	Media Anual
MP <sub>2.5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	Media de 24 horas

Fuente: OMS, 2006.

Autor: OMS

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) la cual mediante un estricto control establece los límites que debe tener el material particulado ya que es considerado como un contaminante de alto riesgo, el cual se lo dividió en estándares primarios y secundarios. Los estándares primarios se enfocan a la salud humana incluyendo lo que son niños, ancianos, y personas potencialmente vulnerables. Mientras que los estándares secundarios se enfocan a los temas de visibilidad, daño a vegetación, edificios, daños a animales, otros. (OMS, 2006, p. 15)

El estándar para PM es:

**Tabla 8-1:** Estándares de calidad para el aire ambiente de acuerdo a la EPA.

	Tipo	Tiempo promedio	Nivel	Modo
PM <sub>2.5</sub>	Primaria	Anual	12µgm <sup>-3</sup>	Media anual promediada en 3 años.
	Secundaria	Anual	15µgm <sup>-3</sup>	Media anual promediada en 3 años.
	Primaria y secundaria.	24h	35µgm <sup>-3</sup>	Percentil promediada en 3 años.
PM <sub>10</sub>	Primaria y secundaria.	24h	150µgm <sup>-3</sup>	No puede ser excedida más de una vez por año en promedio de 3 años.

Fuente: EPA, 2006.

Autor: EPA

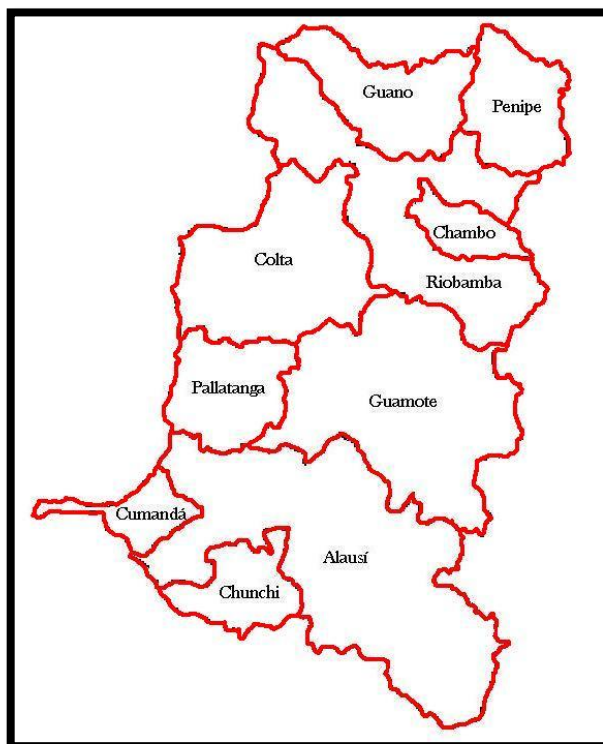
## CAPÍTULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. Área de trabajo

La provincia de Chimborazo se encuentra delimitada al Norte por la provincia del Tungurahua, al Sur por la provincia del Cañar, al Este por la provincia de Morona Santiago, y al Oeste por la provincia del Guayas y Bolívar, situada en la zona céntrica del callejón interandino siendo privilegiada con las más altas cumbres del país como son el Chimborazo, El Altar, Carihuairazo, Igualata, Pico Quilimas, entre otros. (GADPCH, 2016)

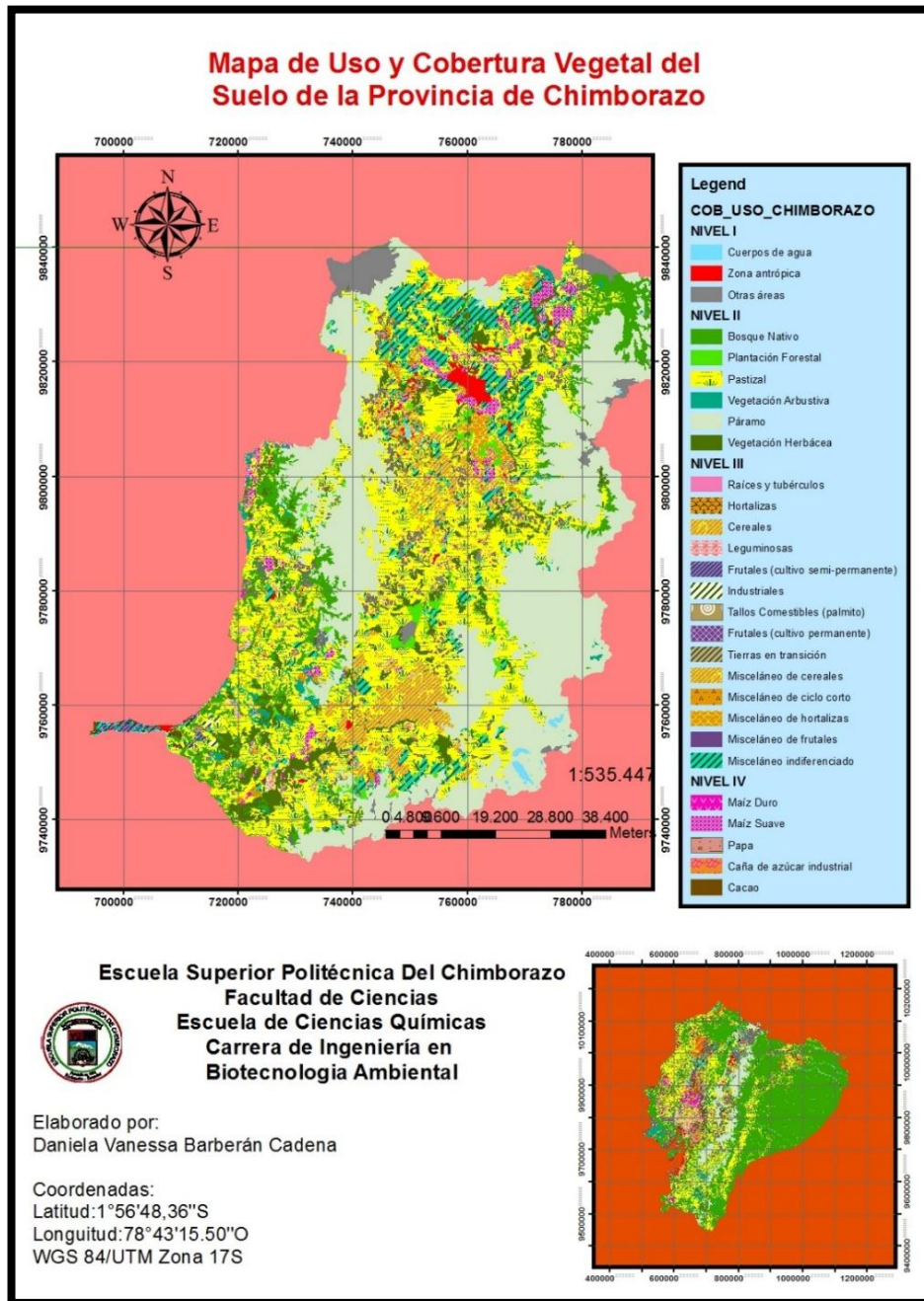
Aquí nace el río Pastaza. De gran importancia son las lagunas que se encuentran ubicadas en él como la de Colta y Ozogoché, las aguas termales de Cunug Puyó y Guallabamba. (GADPCH, 2016) Posee una población total registrada, de acuerdo al censo del 2010 con 458.581 habitantes ubicados en un total de 10 cantones los cuales son: Riobamba, Guamote, Penipe, Chambo, Colta, Alausí, Chunchi, Cumandá, Pallatanga y Guano, que juntas poseen 61 parroquias, 16 urbanas y 45 rurales. (INEC, 2010, p.7)



Fuente: Periódico Cotopaxi, 2012

.Grafico 1-2: Cantones de la provincia de Chimborazo.

En esta provincia, el censo del 2010 demuestra que existen más mujeres que hombres, así como posee una de las más altas poblaciones indígenas las cuales han hecho de la agricultura el sustento principal de la provincia, propicio por la diversidad de climas que podemos encontrar en esta zona. (INEC, 2010, p.7)

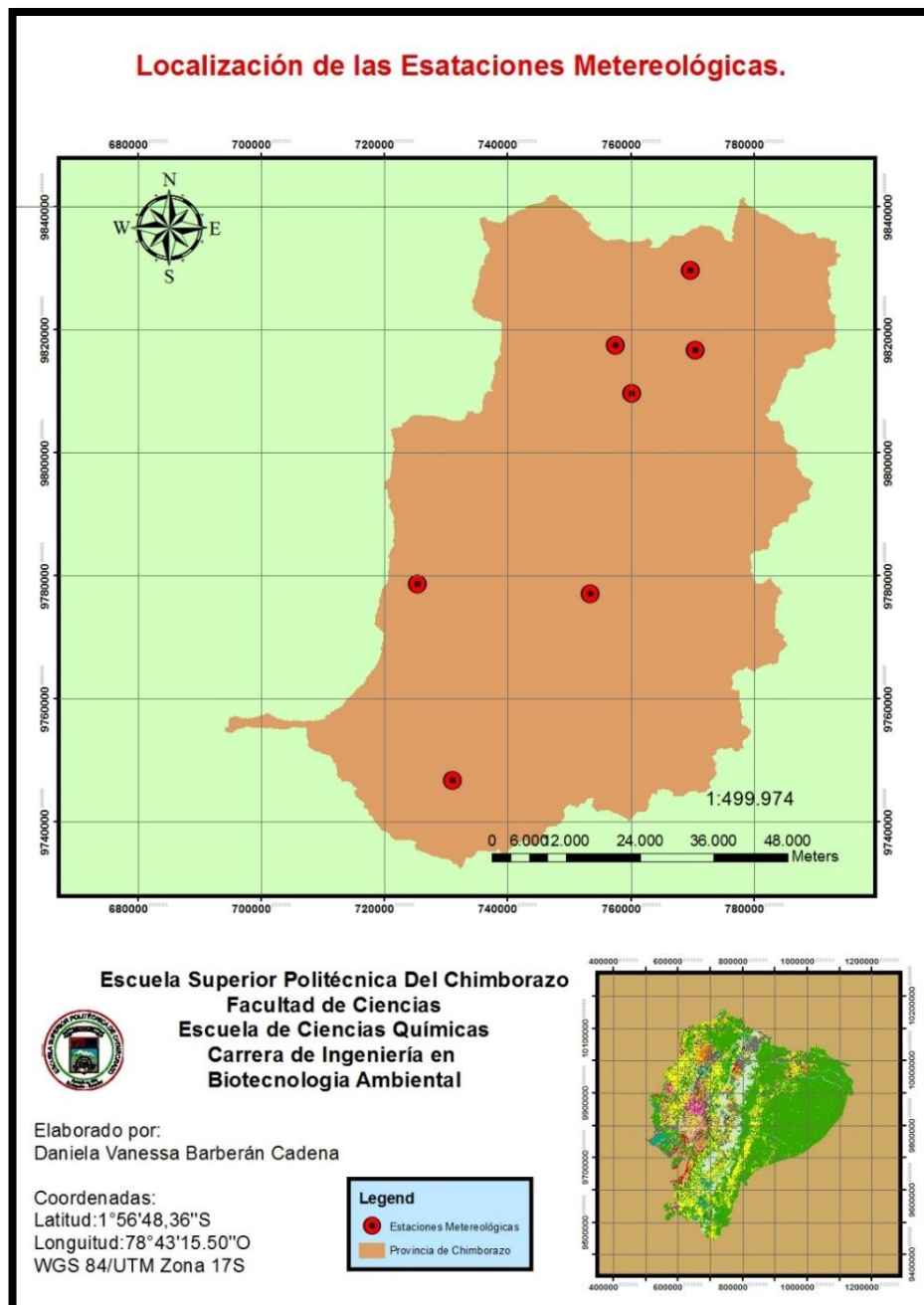


**Mapa 1-2:** Mapa de cobertura y uso del suelo de la Provincia de Chimborazo.

**Realizado por:** MAGAP, BARBERÁN, Daniela., 2017.

## 2.2 Datos meteorológicos de la provincia de Chimborazo

Los datos meteorológicos de la provincia de Chimborazo se los obtuvo gracias a la colaboración del INAMHI el cual a través de sus 7 estaciones ubicadas dentro de la provincia, actualmente activas, excepto Totorillas, que no poseía datos del año 2015.



**Mapa 2-2:** Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas de la provincia de Chimborazo.

**Realizado por:** BARBERÁN, Daniela.

**Tabla 1-2:** Coordenadas de las estaciones meteorológicas.

ID	x	y	Estación
1	760216	9809636	Guaslán
2	725459	9778738	Pallatanga
3	762446	9788952	Cebadas
4	733609	9795380	Shiry xii
5	753371	9777104	Totorillas
6	770429	9816691	Quimiag
7	769764	9829538	Ilapo

Fuente: INAMHI, 2017.

Realizado por: BARBERÁN, Daniela.

### 2.3 Malla de emisiones

Debido a la extensión del área de 5900,5 km<sup>2</sup> que posee la provincia se realizó una malla de emisión, mediante el uso de ArcGis con la herramienta Create Fishnet localizado en Future Class opción de Data Management Tools, determinando que el mapa tiene 100,6 Km de ancho y 110,6 Km de largo, procediendo a la elaboración de celdas de 1 km de largo por 1 km de ancho. (Sánchez, 2010, p.70)

### 2.4 Modelo matemático

El modelo matemático se basa según el informe WRAP Fugitive, la misma que se encuentra en Dust Handbook Countess Environmental, tomado del año 2006 que se refiere a la sección trece de la Compilación de la EPA de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire. (WRAP, 2011, p. 129)

Una de las ciudades que han usado este modelo en Ecuador fue la ciudad de Cuenca con el EMOV para realizar estudios y simulaciones de contaminación atmosférica.

Para la iniciación de este modelo matemático y sus ecuaciones hay que tomar en cuenta que se realizara la determinación de PM<sub>10</sub> y desde ahí se determinara la cantidad de PM<sub>2,5</sub> puesto que las emisiones de PM<sub>2,5</sub> representan el 15% de las emisiones de PM<sub>10</sub>. (WRAP, 2011, p. 129)

La altura de rugosidad se determinó mediante la ECUACIÓN 1: (WRAP, 2011, p. 129)

$$z_0 = \frac{\ln u^* t - \ln 0,3}{7,22}$$

**Ecuación 1**

Donde:

$z_0$  = Altura de rugosidad expuesta dada en m.

$u^* t$  = Velocidad umbral de fricción dada en  $m s^{-1}$ .

La velocidad umbral de fricción viene expresada en datos ya establecidos de acuerdo a varias citas bibliográficas, dependiendo del tipo de suelo en el que hemos trabajado así nos da: (WRAP, 2011, p. 129)

**Tabla 2-2:** Velocidad umbral de fricción promedio dado en  $ms^{-1}$ .

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Valores establecidos de <math>u^* t</math> (<math>ms^{-1}</math>)</b>
Maíz	0,550
Cacao	0,320
Papa	0,320
Misceláneo diferenciado	0,320
Hortalizas	0,320
Frutales	0,320
Industria	0,550
Raíces y tubérculos	0,320
Cereales	0,320
Área sin cobertura vegetal	0,320
Área poblada	0,550
Vegetación herbácea	0,410
Páramo	0,412
Vegetación arbustiva	0,410
Pastizal	0,328
Bosque nativo	0,912
Plantación forestal	0,990
Misceláneo de cereales.	0,320

**Fuente:** Sánchez, 2013,

**Realizado por:** BARBERÁN, Daniela.



Puesto que se trabaja con la parte más superficial del suelo se mantiene una distribución de tipo logarítmica ECUACIÓN 2: (WRAP, 2011, p. 130)

$$u^* = \frac{k * u(z)}{\ln z - \ln z_0}$$

**Ecuación 2**

Donde:

$u^*$  = Velocidad de fricción del esfuerzo cortante del viento dado en  $m s^{-1}$ .

$k$  = Constante denominado Karman 0,4.

$u(z)$  = Velocidad del viento dado en  $ms^{-1}$ .

$z_0$  = Altura de rugosidad expuesta dada en m.

$z$  = Altura a la que se midió la velocidad del viento en el anemógrafo 10 m.

La determinación del potencial de erosión para una superficie depende de las condiciones a las que se encuentre expuesta y se dio mediante la ECUACIÓN 3: (WRAP, 2011, p. 130)

$$P = 58(u^* - u^*t)^2 + 25(u^* - u^*t)$$

**Ecuación 3**

Donde:

$P$  = Potencial de erosión dado en  $g m^{-2}$

58 = Modelo empírico dado en  $g s^{-2} m^{-4}$

25 = Modelo empírico dado en  $g s^{-2} m^{-3}$

$u^*$  = Velocidad de fricción del esfuerzo cortante del viento dado en  $m s^{-1}$ .

$u^*t$  = Velocidad umbral de fricción dada en  $ms^{-1}$ .

En esta fórmula del potencial de erosión se tiene una condición en la que  $P$  será igual a cero si  $u^*$  es menor o igual que  $u^*t$ . El factor para la emisión de PM producido por la mezcla del tipo de suelo conjuntamente con el viento generado, se lo determino con la ECUACIÓN 4: (WRAP, 2011, p. 131)

$$PM_{10}FE = 0,5 \sum_{i=1}^N Pi$$

**Ecuación 4**

Donde:

$PM_{10}FE$  = Factor de emisión de PM para un diámetro aerodinámico de  $10 \mu m g m^{-2} mes^{-1}$

Pi = Potencial de erosión dado en  $\text{g m}^{-2}$

N = Perturbaciones por mes.

Se determinó las emisiones mensuales de  $\text{PM}_{10}$  con la ECUACIÓN 5: (WRAP, 2011, p. 132)

$$E_m^K = \text{PM}_{10} \text{Factor de emisión} \cdot \text{Área}$$

#### Ecuación 5

Donde:

$E_m^K$  = Son las emisiones dadas mensualmente de PM en una celda k dado en  $\text{g mes}^{-1}$ .

k = Celda de dominio.

m = Mes.

$\text{PM}_{10}\text{Fe}$  = Flujo de PM dado en  $\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$

Área = Área tomada de la celda de dominio en este caso es de 1 km.

## 2.5 Viento

Toda la información obtenida de la velocidad del viento fue receptada, procesada y proporcionada por el INAMHI, el cual informó que las mediciones se realizaron a 10 m sobre la superficie del suelo mediante anemógrafos previamente calibrados y en buen estado de funcionamiento localizados en cada uno de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia de Chimborazo.

Con los datos de dirección del viento y de tipo de suelo se utilizó el método Spline del Software ArcGis que utiliza el método de interpolación básica el cual se encarga de la estimación de datos mediante funciones matemáticas.

Se debe tener en cuenta que para realizar y utilizar el método Spline en los valores de la velocidad del viento no existían valores negativos, los valores que existieron iban desde el 0,2 a  $18 \text{ m s}^{-1}$

## 2.6 Spline

Es una herramienta muy práctica del software ArcGis el cual se basa en una interpolación de datos usando una función matemática polinomial sobre tramos adyacentes en donde pasa por todos los valores de entrada y por lo cual también minimiza la curvatura general que se produce, esta función es ampliamente utilizada para concentraciones de diferentes contaminantes. (ArcGis, 2016, p.6)

Se escogió esta herramienta para poder interpolar e intersecar los mapas con la malla inicial, tipo y uso de suelo y los mapas de velocidad de los vientos, todos usados para las celdas de 1 Km<sup>2</sup> para cada uno de los meses del año 2015.

## CAPITULO III

### 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

#### 3.1 Provincia de Chimborazo

Para la presente investigación se utilizó el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de la provincia de Chimborazo determinando con exactitud el área de trabajo, dando una totalidad de 5900,5 Km<sup>2</sup> de suelo.

**Tabla 1-3:** Tipo de suelos y área de estudio de la provincia de Chimborazo

Numero	Tipo de suelo	Área	
		Hectáreas	Km <sup>2</sup>
1	Área poblada	4912,068	49,121
2	Área sin cobertura vegetal	11164,407	111,644
3	Bosque nativo	39052,124	390,521
4	Cacao	492,698	4,927
5	Cereales	8151,316	81,513
6	Cuerpos de agua artificial	2,828	0,028
7	Cuerpos de agua natural	2429,231	24,292
8	Frutales	1407,312	14,073
9	Glaciar	3328,803	33,288
10	Hortalizas	466,745	4,667
11	Industriales	582,584	5,826
12	Infraestructura	205,171	2,052
13	Leguminosas	4181,519	41,815
14	Maíz duro	525,959	5,260
15	Maíz suave	13794,083	137,941
16	Misceláneo de cereales	24927,522	249,275
17	Misceláneo de ciclo corto	2625,113	26,251
18	Misceláneo de frutales	105,169	1,052
19	Misceláneo de hortalizas	4283,727	42,837
20	Misceláneo indiferenciado	35371,014	353,710
21	Papa	6041,682	60,417
22	Páramo	180763,682	1807,637

<b>23</b>	Pastizal	193107,533	1931,075
<b>24</b>	Plantación forestal	9659,263	96,593
<b>25</b>	Raíces y tubérculos	140,641	1,406
<b>26</b>	Tallos comestibles	191,050	1,910
<b>27</b>	Tierra en transición	168,465	1,685
<b>28</b>	Vegetación arbustiva	8586,016	85,860
<b>29</b>	Vegetación herbácea	33385,036	333,850
	<b>TOTAL</b>	<b>590052,760</b>	<b>5900,528</b>
		<b>Hectáreas</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>

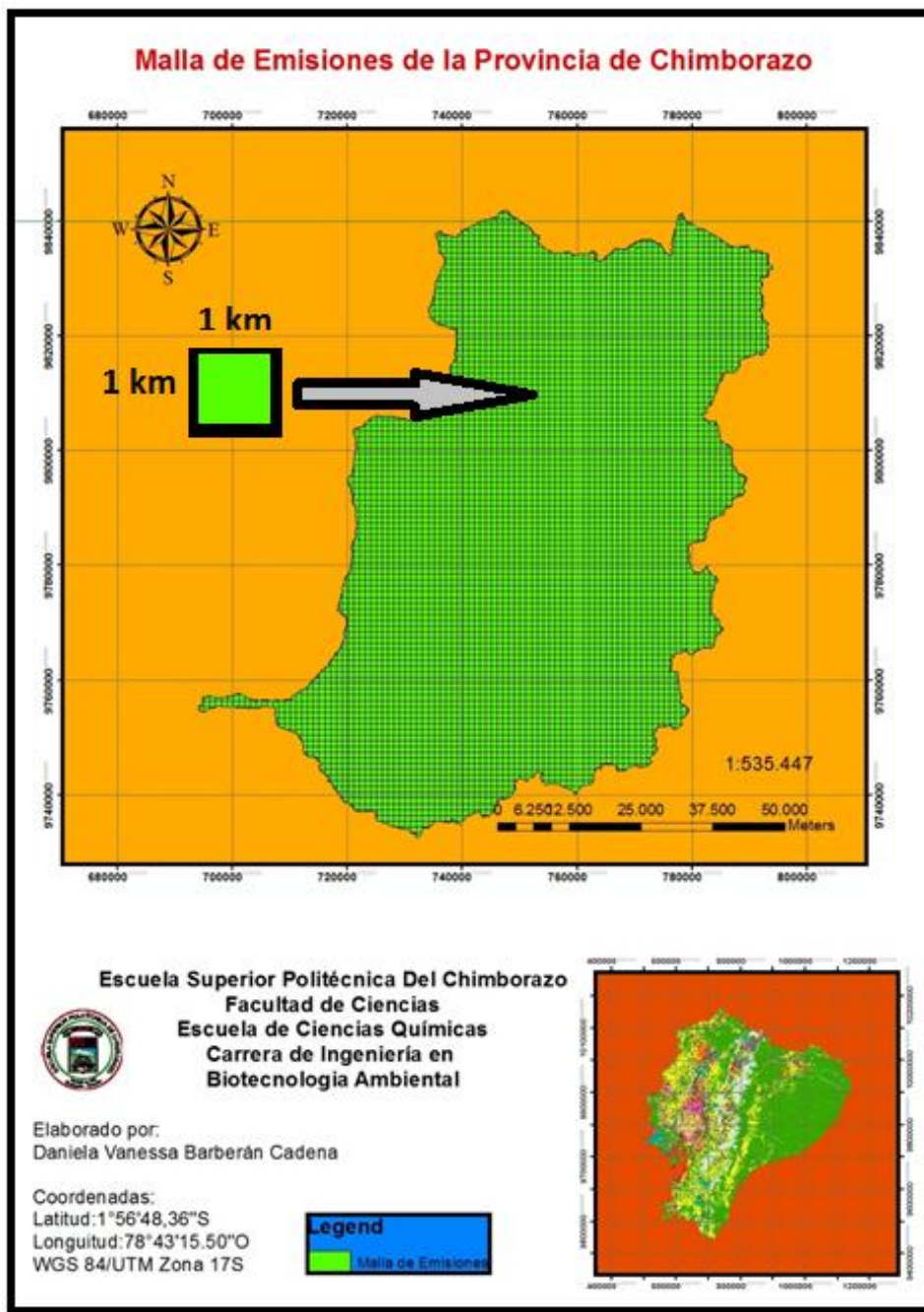
**Fuente:** INAMHI, 2017.

**Realizado por:** BARBERÁN, Daniela.

La provincia de Chimborazo consta con un total de 29 tipos de suelo y vegetación como se detalla en la Tabla 1-3, concluyendo que el tipo de suelo dominante es el pastizal con una extensión de 1931,0753 km<sup>2</sup> y el tipo de suelo con menor extensión fueron los cultivos de raíces y tubérculos que alcanzaron 1,4064 km<sup>2</sup>.

La malla de emisiones realizada proporcionó un número total de 6188 celdas de un kilómetro cuadrado ocupados en toda el área que comprende la provincia de Chimborazo.

Intersecando el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de la provincia de Chimborazo con el mapa de la malla de emisiones, dando un total de 2195 celdas para el tipo de suelo pastizal, mientras que el de menor dominio son las tierras en transición y de infraestructura las cuales poseen 2 celdas cada uno.



**Mapa 1-3:** Mapa de malla de emisiones de la provincia de Chimborazo.

**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

### 3.2 Vientos

Se utilizó los valores promedio de la velocidad del viento, registrados en las 7 estaciones meteorológicas de la provincia de Chimborazo (Mapa 2-2), en las cuales el anemógrafo se localizaba a 10 m de altura, datos que fueron registrados a las 7H00, 13H00 y 19H00.

**Tabla 2-3:** Velocidades de viento máximas obtenidas en cada mes.

<b>Velocidad Máxima</b>	<b>Hora</b>	<b>Valor m s<sup>-1</sup></b>
Enero	13H00	12,0
Febrero	19H00	16,0
Marzo	19H00	16,0
Abril	13H00	20,0
Mayo	13H00	10,0
Junio	19H00	20,0
Julio	13H00	20,0
Agosto	07H00	19,0
Septiembre	13H00	20,0
Octubre	13H00	16,0
Noviembre	13H00	18,0
Diciembre	19H00	16,0

**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Tomando en cuenta que según la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration) dieron a conocer que el año 2015 fue el año más caluroso de los últimos 136 años (INAMHI, 2015, p. 8), que simultáneamente tuvo un fenómeno de El Niño bastante fuerte provocando el calentamiento de las aguas del océano pacífico, fenómenos meteorológicos extremos y complementando la situación con los fenómenos atmosféricos provocados por los gases de efecto invernadero, que fueron los causantes de dichos cambios climáticos en el año 2015. (OMM, 2016)

Los meses de abril, junio, julio, agosto y septiembre presentaron altas velocidades de viento, registrados en metros por segundo, debido que en estos meses se presentó una estación seca, calurosa y con la presencia de mucho sol generando grandes y fuertes corrientes en la región. El mes de enero presentó una velocidad de viento bajo del 0,157 m/s, siendo el cantón Colta el de menor afectación, provocado por la presencia del fenómeno de “El niño” de manera intensa, en este mes la provincia de Chimborazo alcanzó una intensa humedad produciendo días nublados. (INAMHI, 2015, p. 6)

Los mapas obtenidos mensualmente (Ver Anexo A) determinaron que los cantones de Alausí, Guamote, Chambo, Penipe y parte de Riobamba presentaron una velocidad del viento fuerte de hasta 14,8 m/s en los meses de enero a mayo.

En los meses de junio a diciembre el viento tiene un ligero cambio puesto que los cantones con mayor velocidad se producen en la parte norte de la provincia como Guano y Penipe, dando un valor de hasta 16 m/s.

En la parte Sur los cantones Cumandá, Chunchi y Alausí, con mayor velocidad del viento se presenta en los meses de noviembre y diciembre.

En los cantones Pallatanga, Colta y Guamote presentaron una relativa calma en lo que a la velocidad de viento se refiere para los meses de noviembre y diciembre. (Ver Anexo A)

Estos datos coinciden con las interpolaciones e intersecciones que se realizaron con el software ArcGis y la herramienta Spline de los mapas de velocidad del viento, malla inicial de emisiones y el mapa de cobertura vegetal así como al uso de suelo, los cuales nos dieron datos para los meses de junio, agosto y septiembre con mayor velocidad de viento. (Ver Anexo A)

Tomando en consideración que en la provincia de Chimborazo tenemos la presencia de grandes y numerosas elevaciones, siendo la más importante el Chimborazo puesto que se encuentra en plena cadena montañosa de la región sierra y por ende tuvo valores más altos en la velocidad del viento con respecto a las otras regiones del Ecuador. (Sánchez, 2010, p. 87)

### **3.3 Tipo de suelo.**

En la Tabla 3-3, se presentan las emisiones de PM para cada tipo de suelo estudiado y analizado, resultado del cual el pastizal es el que posee mayor resuspensión de PM dando un total de 17480,164 g/m<sup>2</sup>\*mes, considerando que este es el tipo de suelo más extenso en la provincia y a las características particulares del suelo como son el poseer un vegetación de tamaño bajo, rico en materia orgánica, que por lo general se dan en zonas donde la precipitación es escasa provocando el sobrepastoreo de especies vacunas y caprinas, las más comercializadas en la provincia. (Buñay, 2015) Cabe mencionar que el año 2015 presentó un decremento en la precipitación en toda la región interandina. (INAMHI, 2015, p. 8)



**Tabla 3-3:** Valores obtenidos de PM para cada tipo de suelo.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>PM<sub>10</sub> g/m<sup>2</sup>*mes</b>	<b>PM<sub>2,5</sub> g/m<sup>2</sup>*mes</b>	<b>% PM</b>
Maíz	55,949	8,392	0,191
Papa	11,421	1,713	0,039
Misceláneo Indiferenciado	910,658	136,599	3,115
Frutales	17,966	2,695	0,061
Cereales	24,446	3,667	0,084
Área sin cobertura vegetal	0,294	0,044	0,001
Vegetación herbácea	1608,132	241,220	5,500
Páramo	4488,375	673,256	15,352
Vegetación arbustiva	0,821	0,123	0,003
Pastizal	17480,164	2622,025	59,789
Bosque nativo	2360,865	354,130	8,075
Plantación forestal	955,054	143,258	3,267
Misceláneo de cereales	1322,099	198,315	4,522
<b>TOTAL</b>	<b>29236,245</b>	<b>4385,437</b>	<b>100,000</b>

**Realizado por:** Daniela Vanessa Barberán Cadena

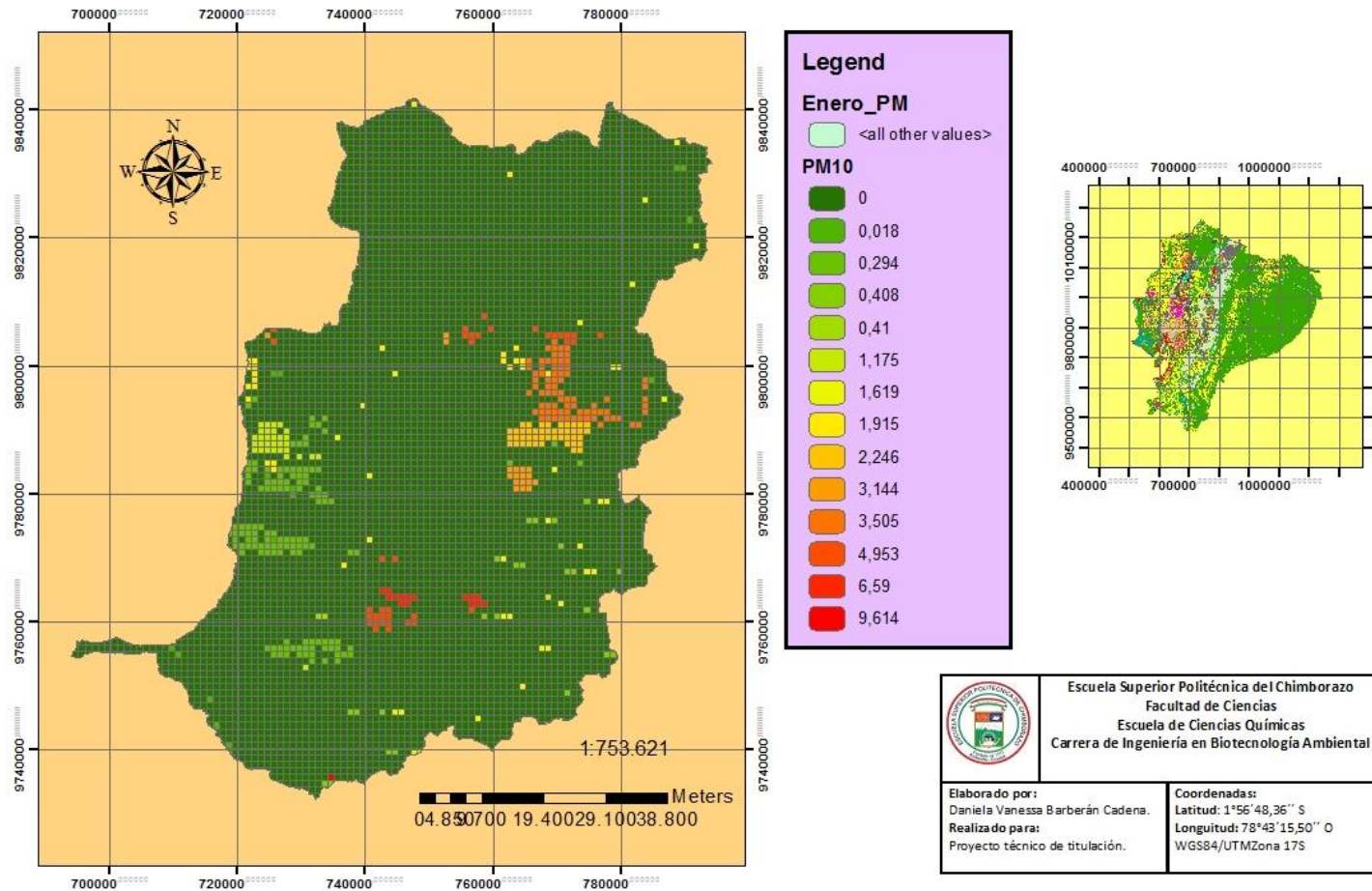
El tipo de suelo con menor uso, pero no menos importantes son las áreas sin cobertura vegetal, la misma que representa solo el 0,001 % de las emisiones de PM, en la determinación de PM se utilizaron todos los tipos de suelo obtenidos del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del Ecuador, específico para la provincia de Chimborazo sin excepciones.


### **3.4 Material Particulado.**

Una vez realizada la intersección se procedió a utilizar el programa ArcGis que gracias a la herramienta Spline se interpolaron los mapas de uso y cobertura del suelo, velocidad del viento y la malla inicial (Mapa 1-3) dándonos un resultado de entre 1200 a 1600 datos para cada mes con los que se obtuvo valores de material particulado mediante la simulación matemática como se expresa en la tabla 4-3 y los siguientes mapas del 2-3 al 25-3.

**Mapa 2-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Enero.

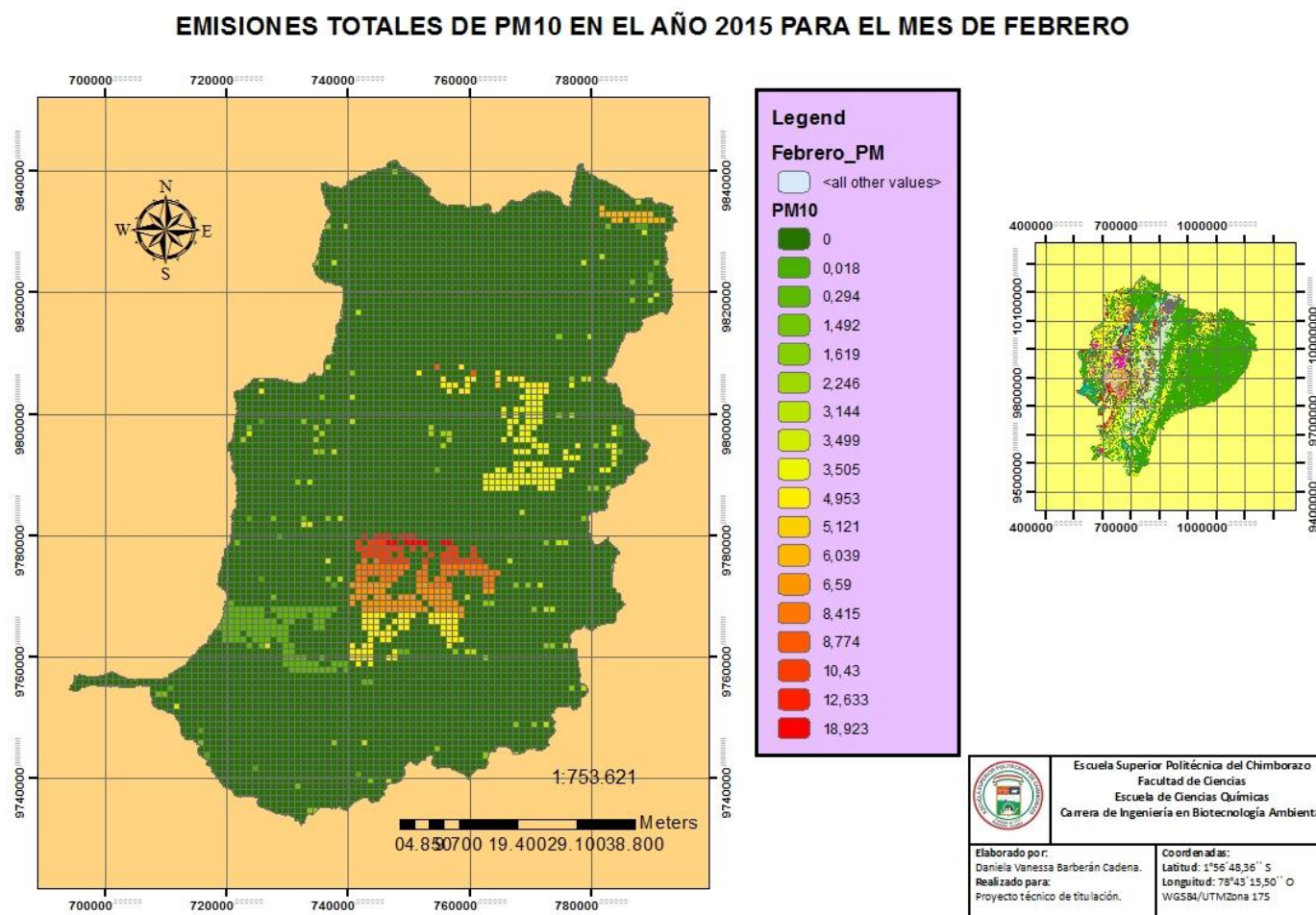
**EMISIONES TOTALES DE PM10 EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE ENERO**



	Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental	
	Elaborado por: Daniela Vanessa Barberán Cadena. Realizado para: Proyecto técnico de titulación.	Coordenadas: Latitud: 1°56'48,36" S Longitud: 78°43'15,50" O WGS84/UTMZona 17S

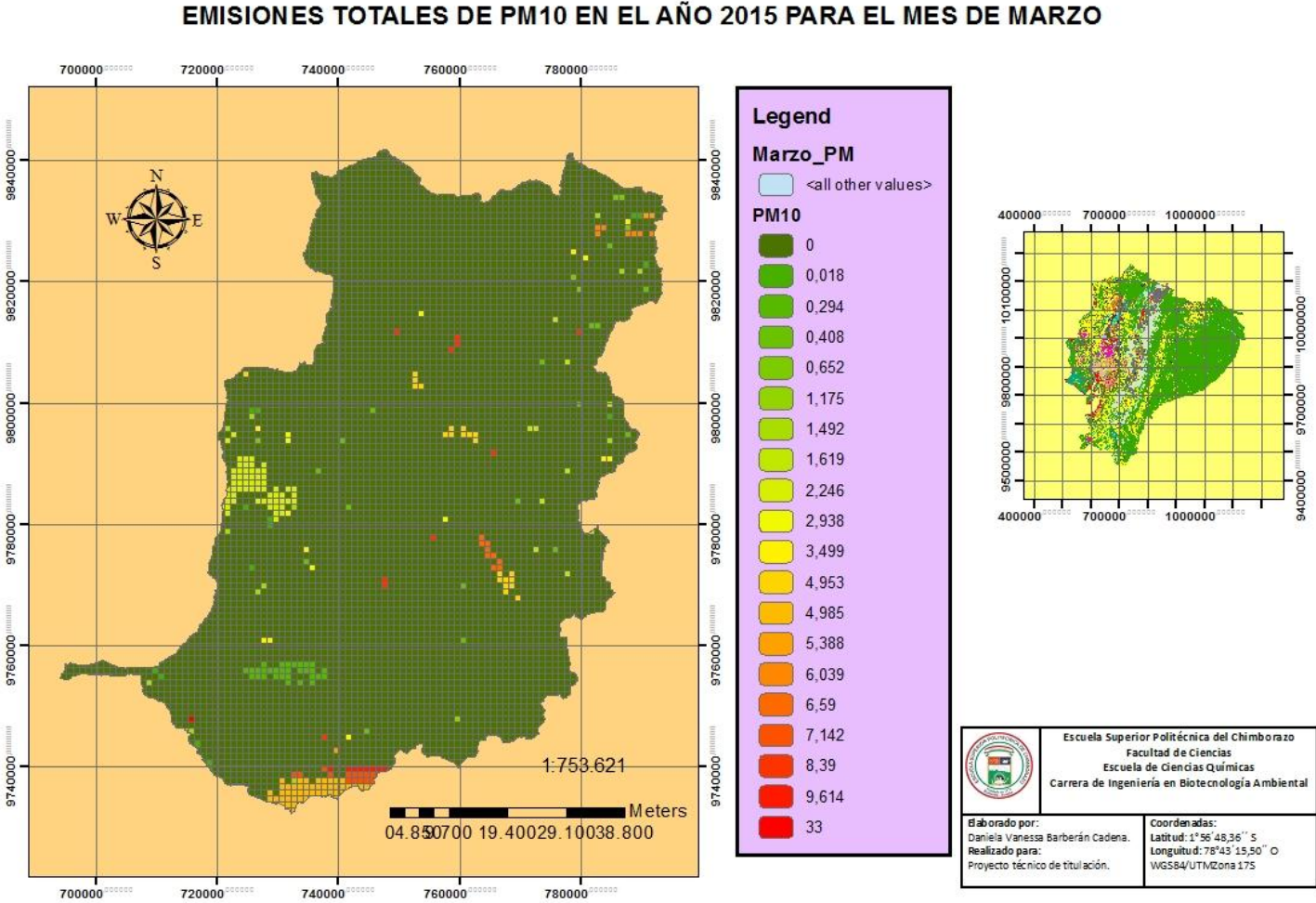
**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

**Mapa 3-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Febrero.



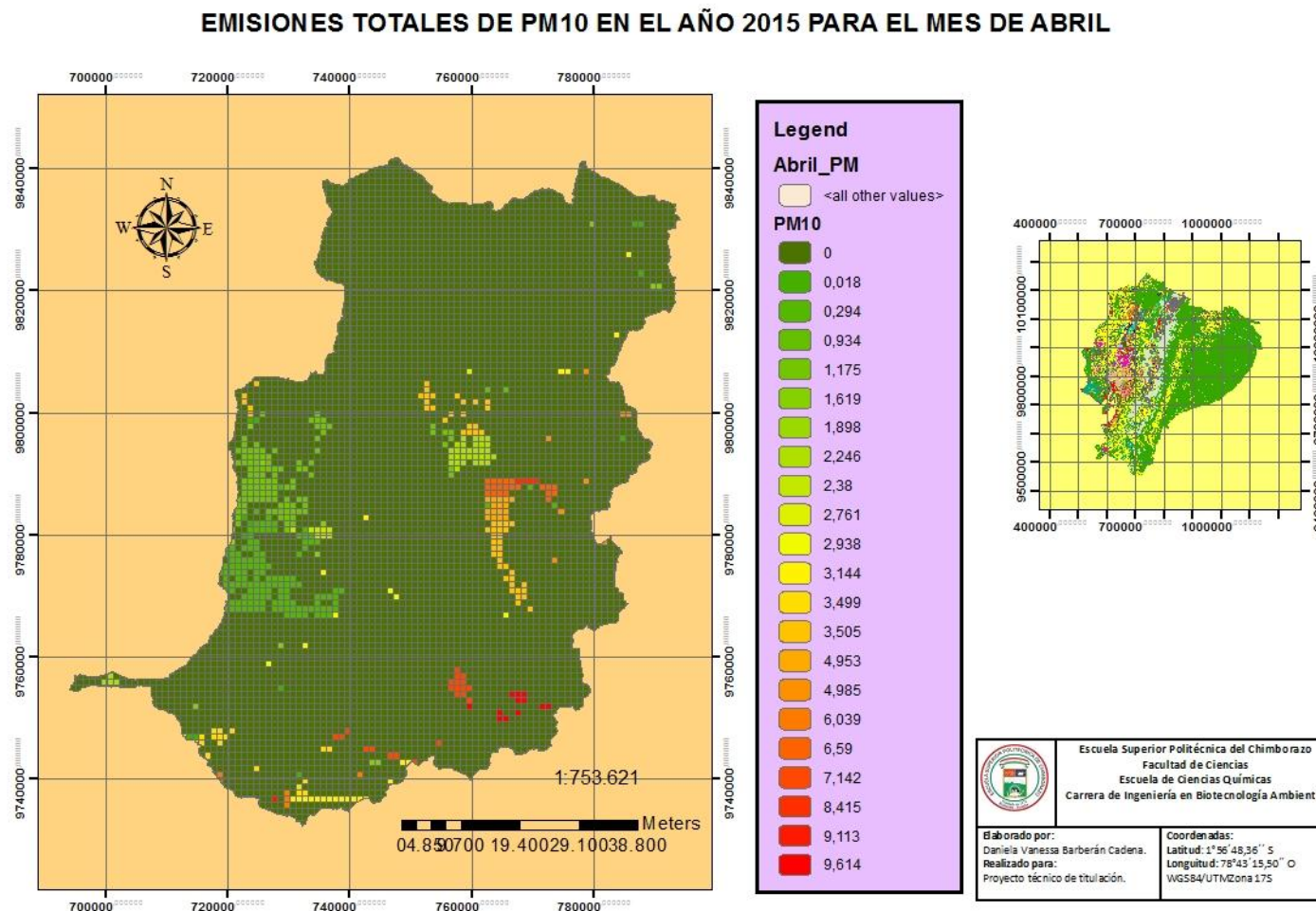
**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Mapa 4-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Marzo.



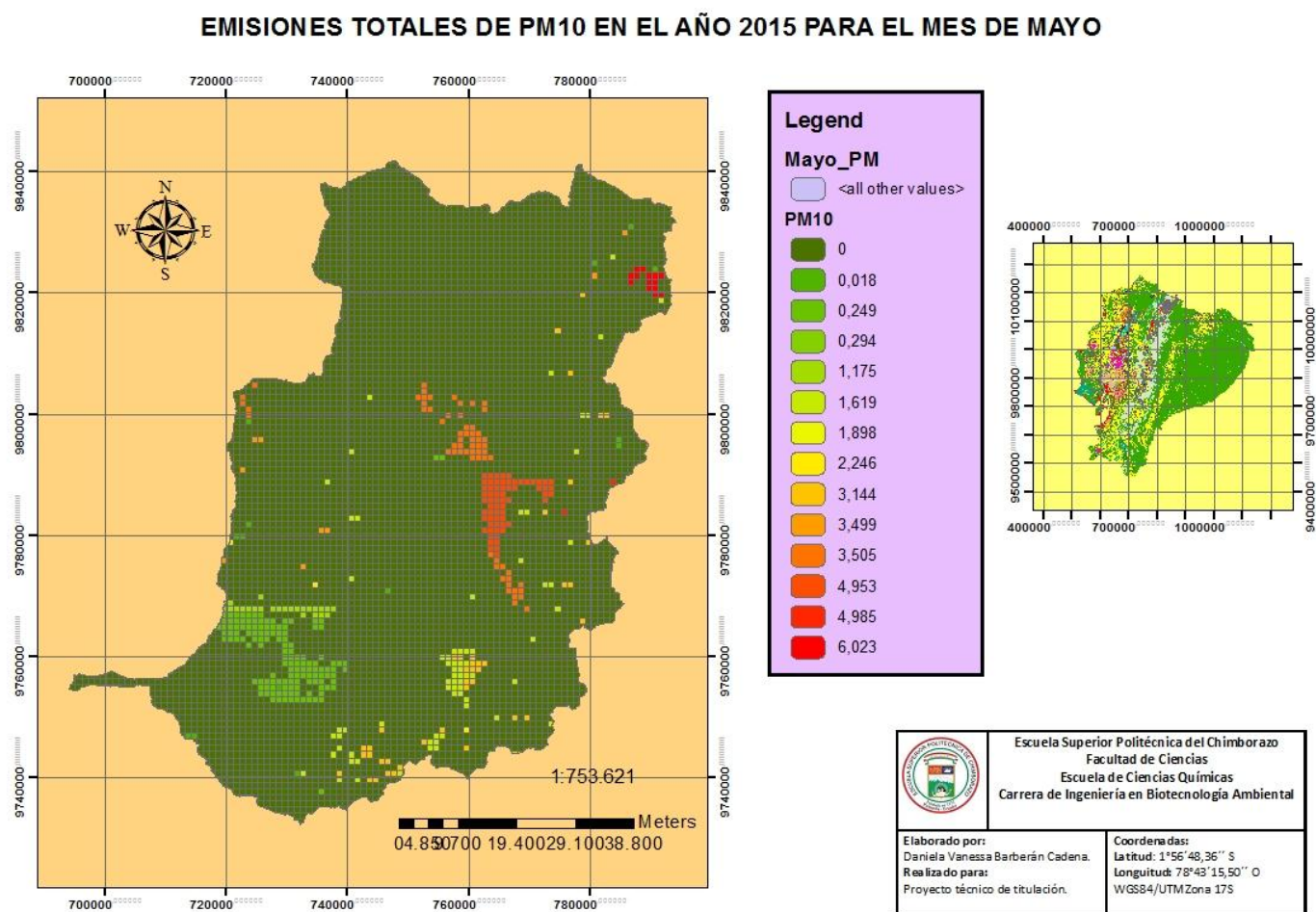
Autor: BARBERÁN, Daniela.

**Mapa 5-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Abril.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

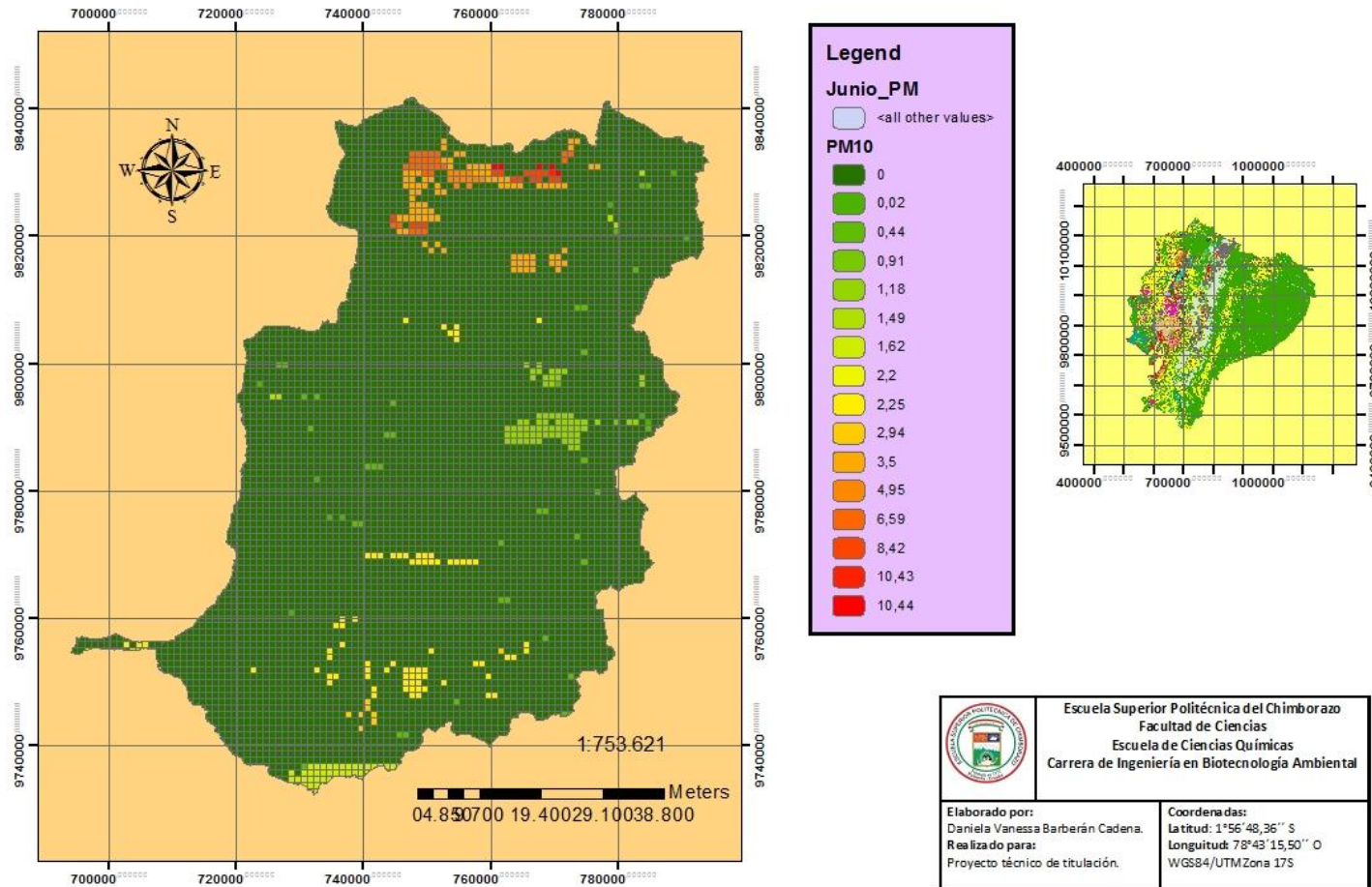
**Mapa 6-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Mayo.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

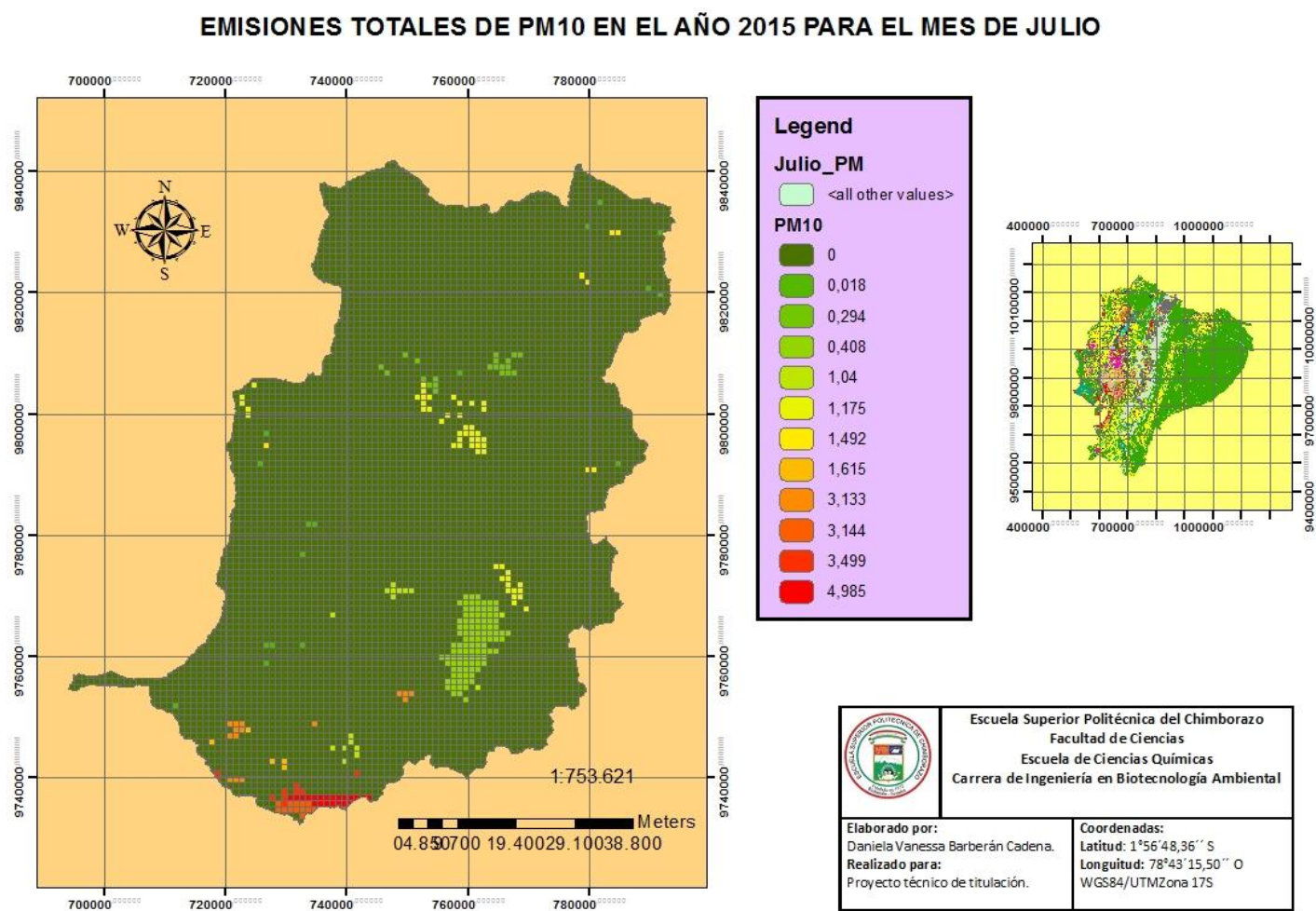
Mapa 7-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Junio.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>10</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE JUNIO



Autor: BARBERÁN, Daniela.

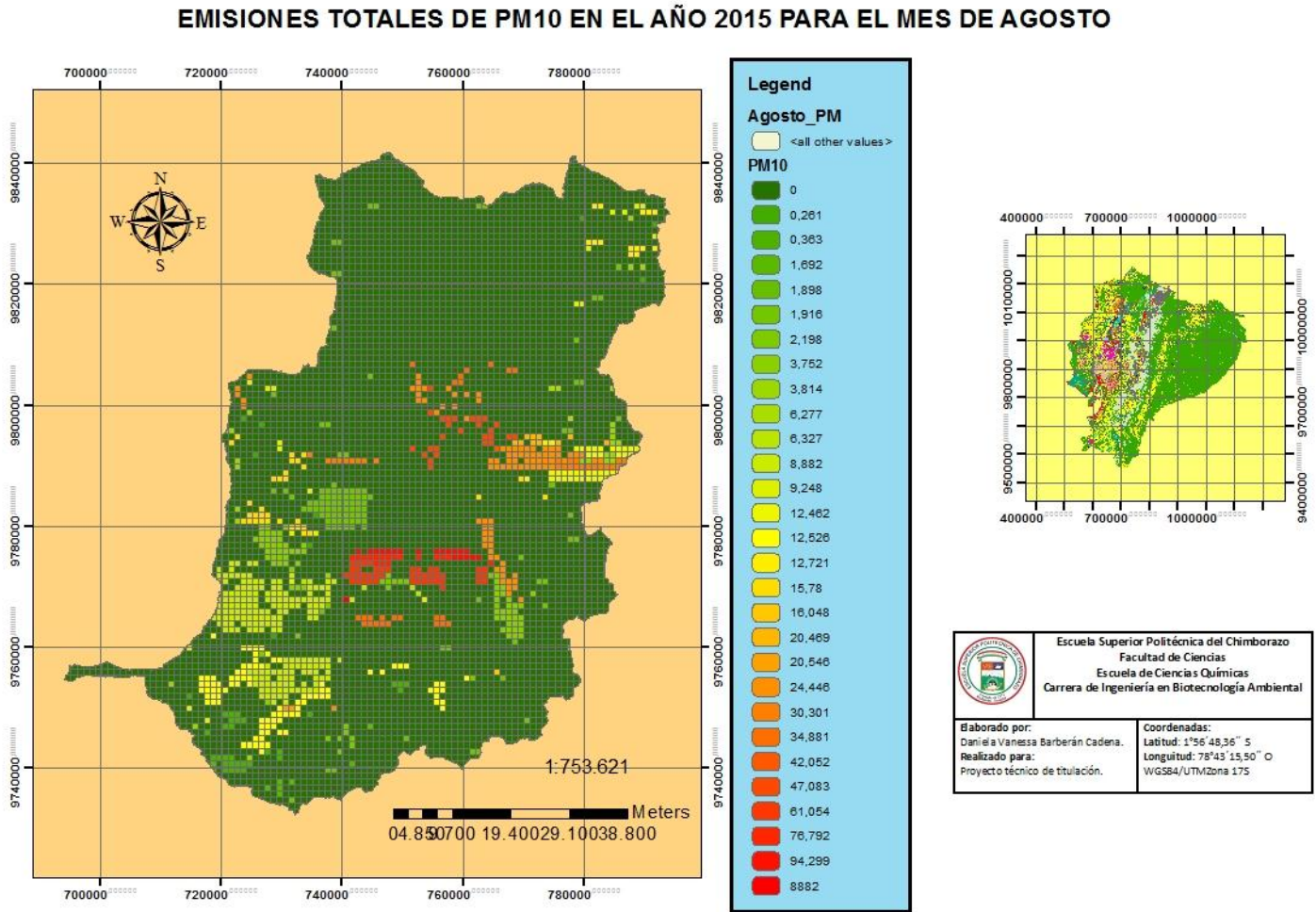
**Mapa 8-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Julio.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

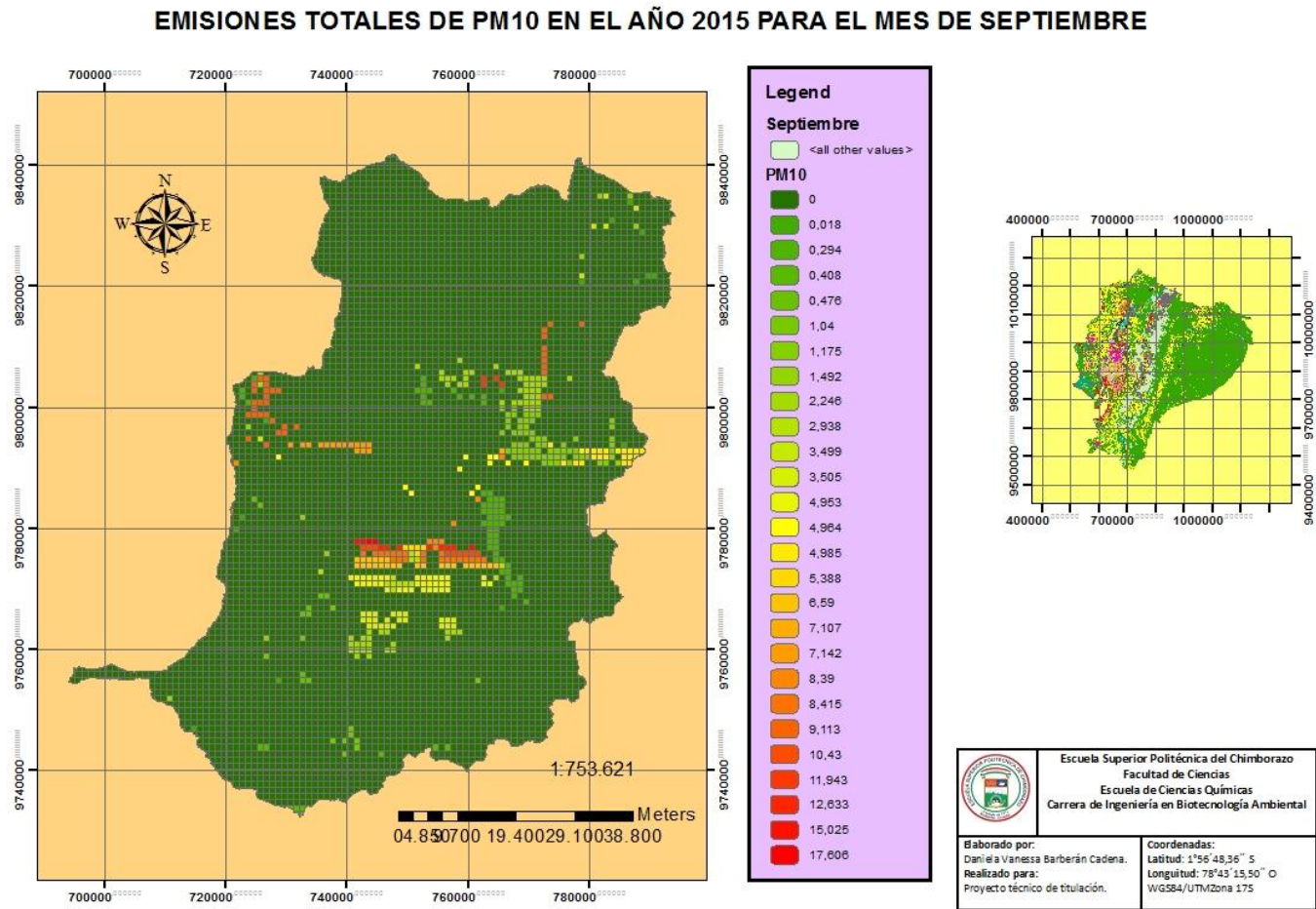


Mapa 9-3: Mapa de emisiones totales PM<sub>10</sub> del mes de Agosto.



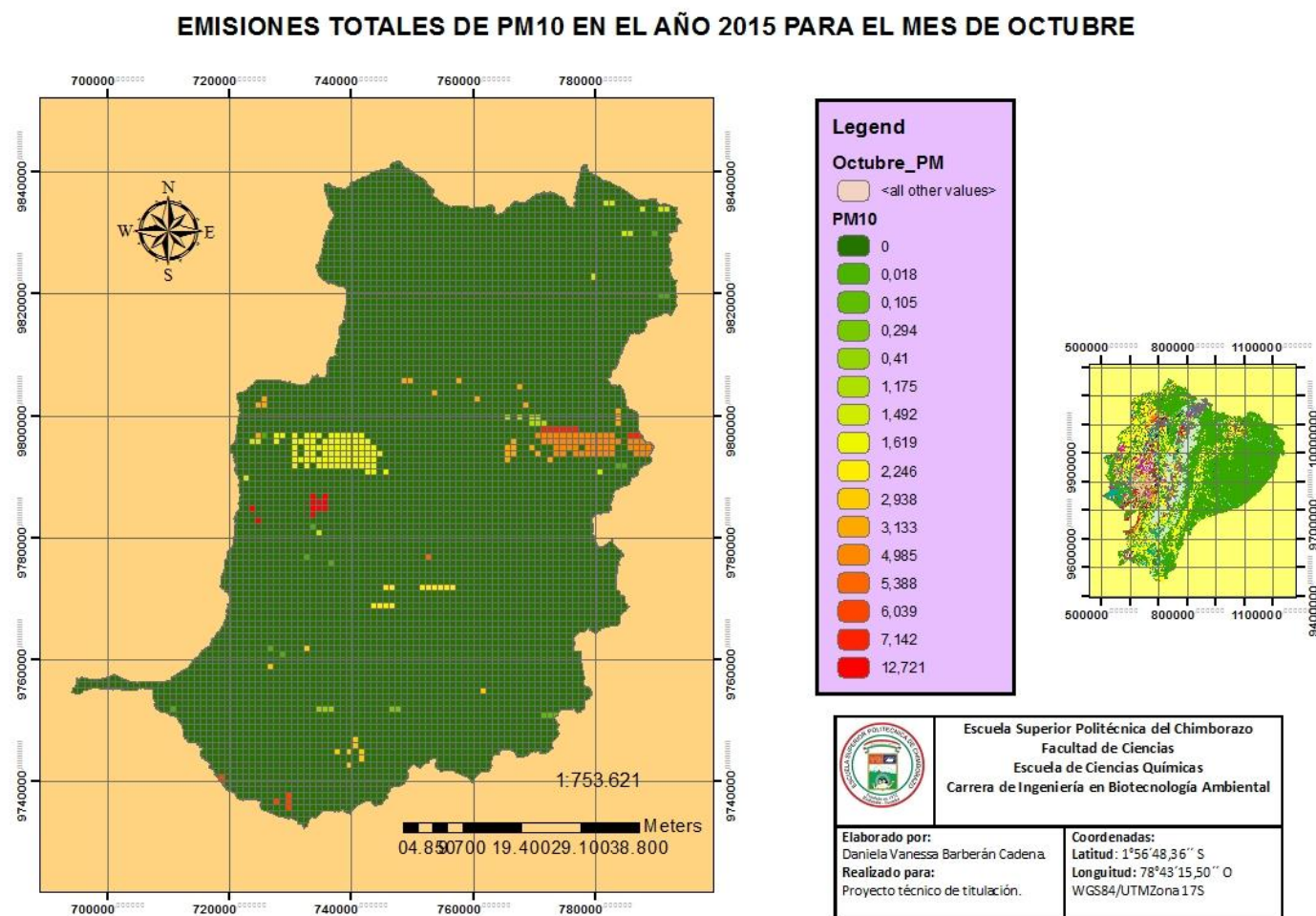
Autor: BARBERÁN, Daniela.na

**Mapa 10-3:** Mapa de emisiones totales PM<sub>10</sub> del mes de Septiembre.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

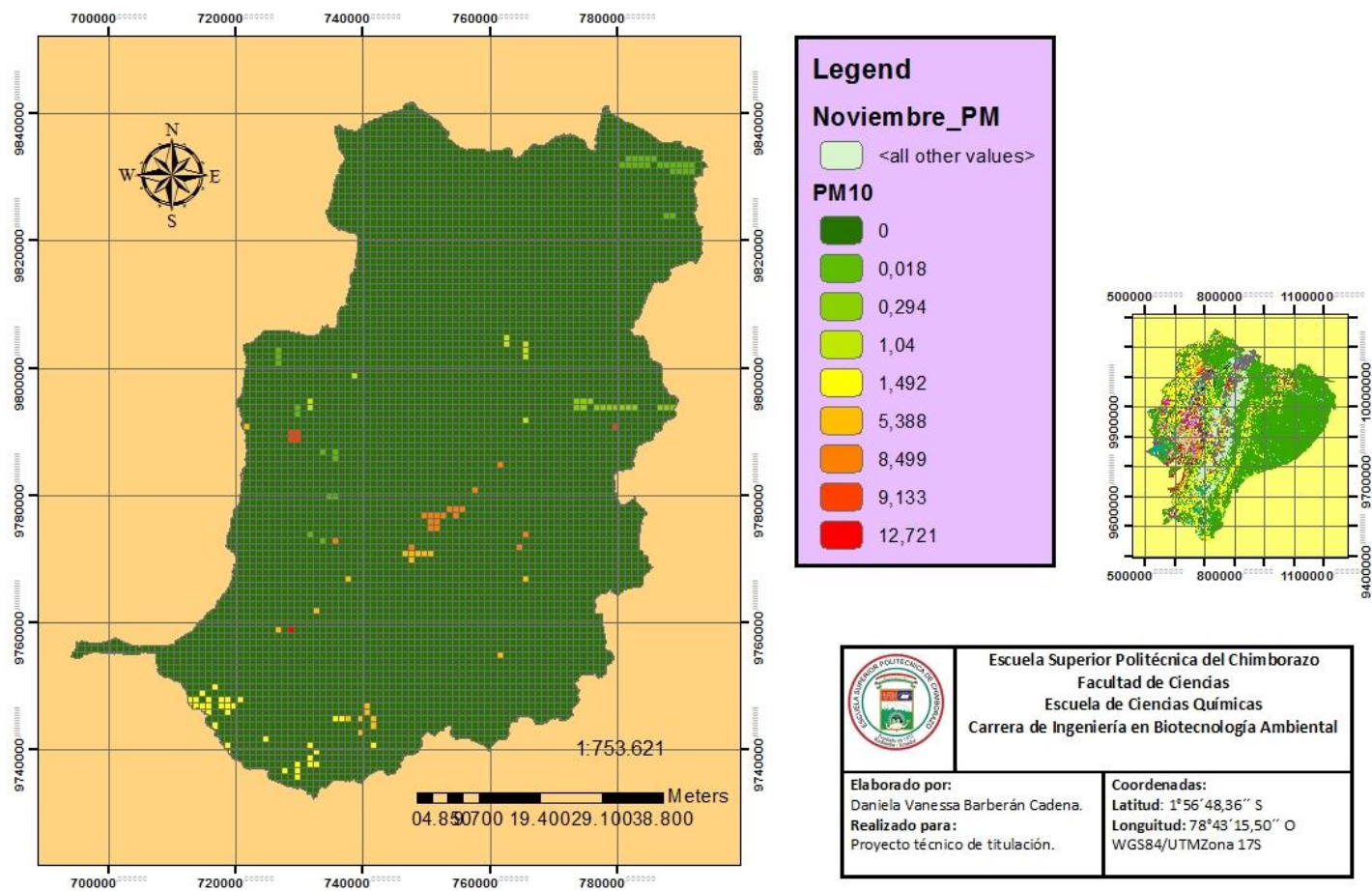
**Mapa 11-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Octubre.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

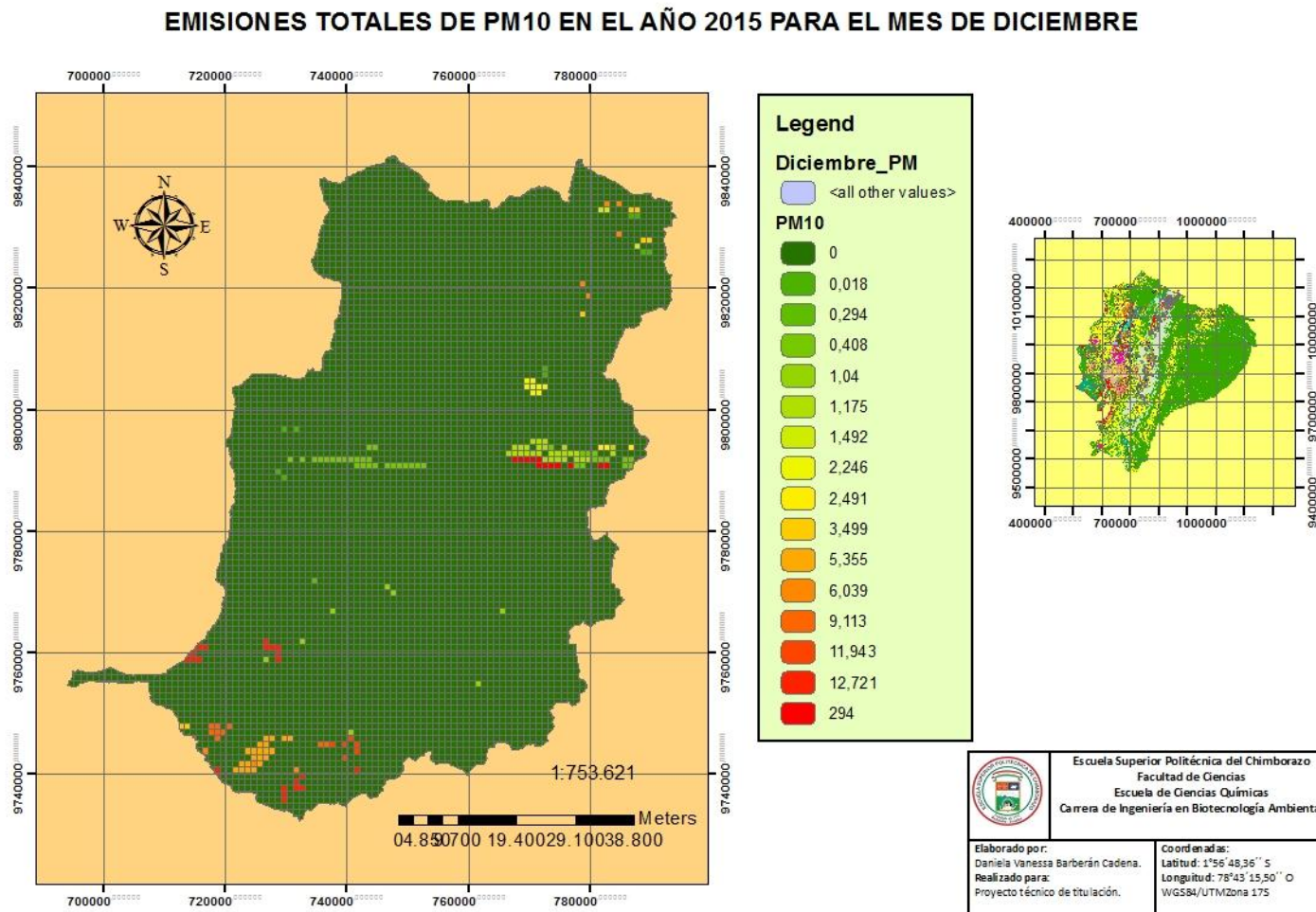
**Mapa 12-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Noviembre.

**EMISIONES TOTALES DE PM10 EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE NOVIEMBRE**



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

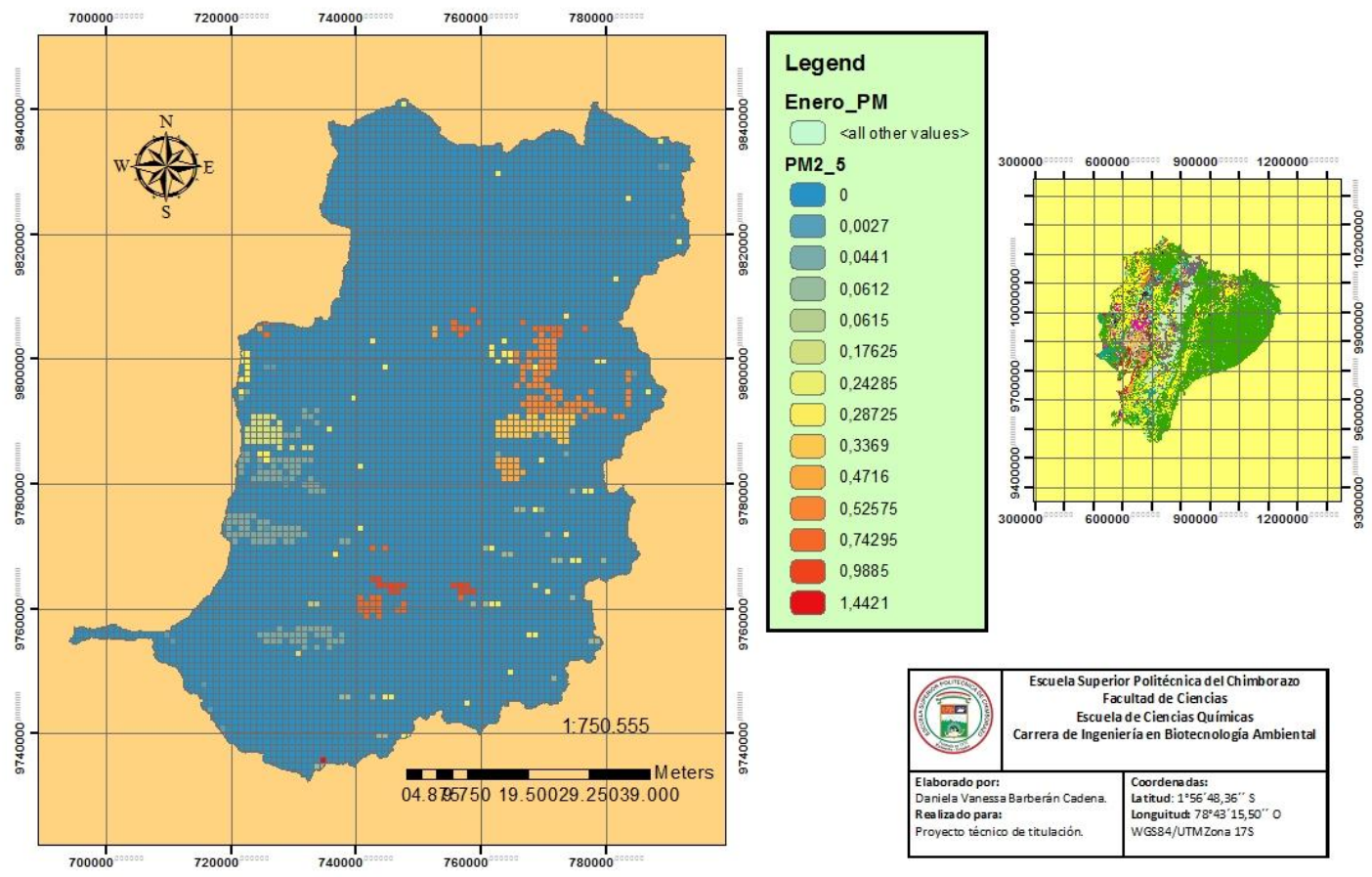
Mapa 13-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>10</sub> del mes de Diciembre




Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 14-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Enero.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE ENERO

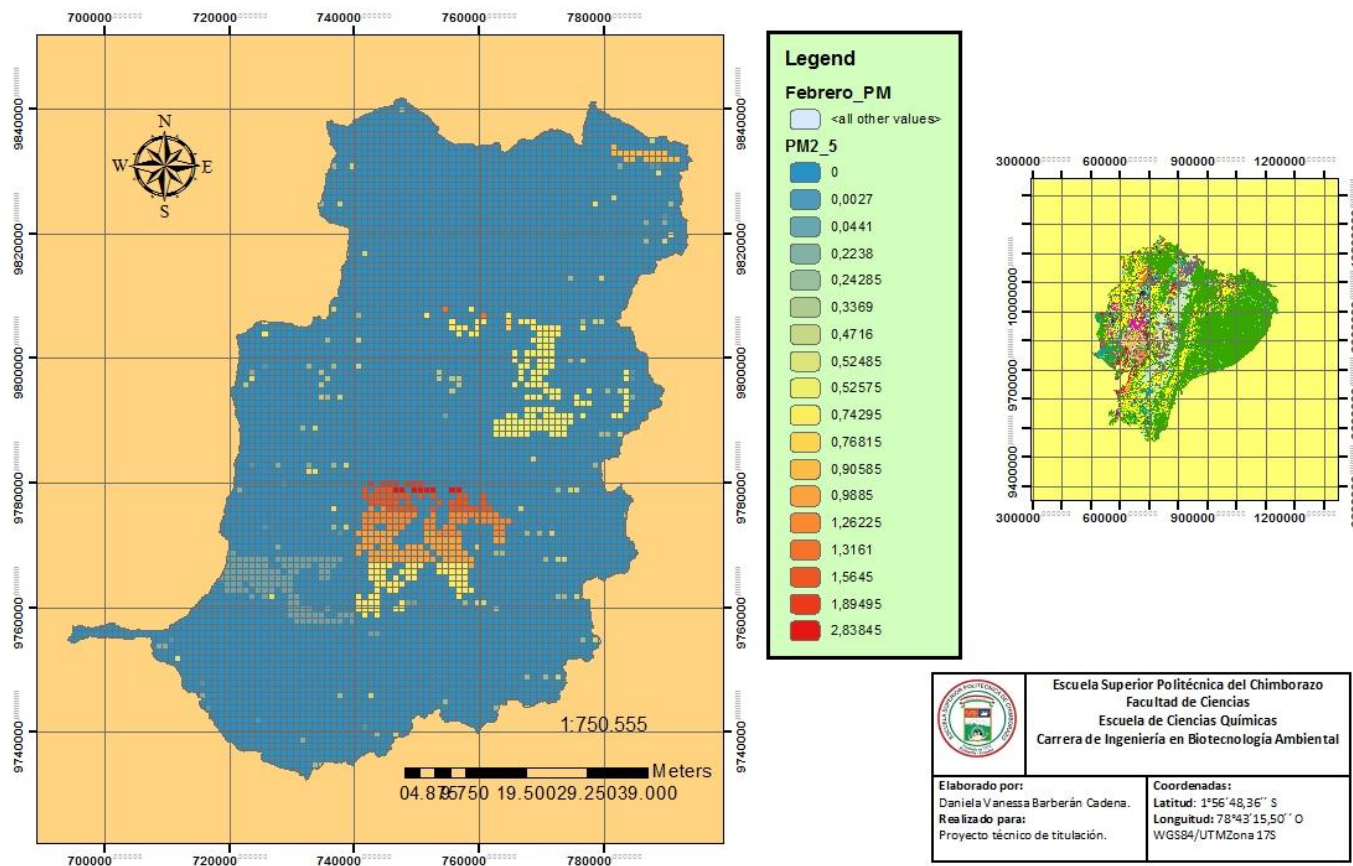


	Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental
	Elaborado por: Daniela Vanessa Barberán Cadena. Realizado para: Proyecto técnico de titulación.

Autor: BARBERÁN, Daniela.

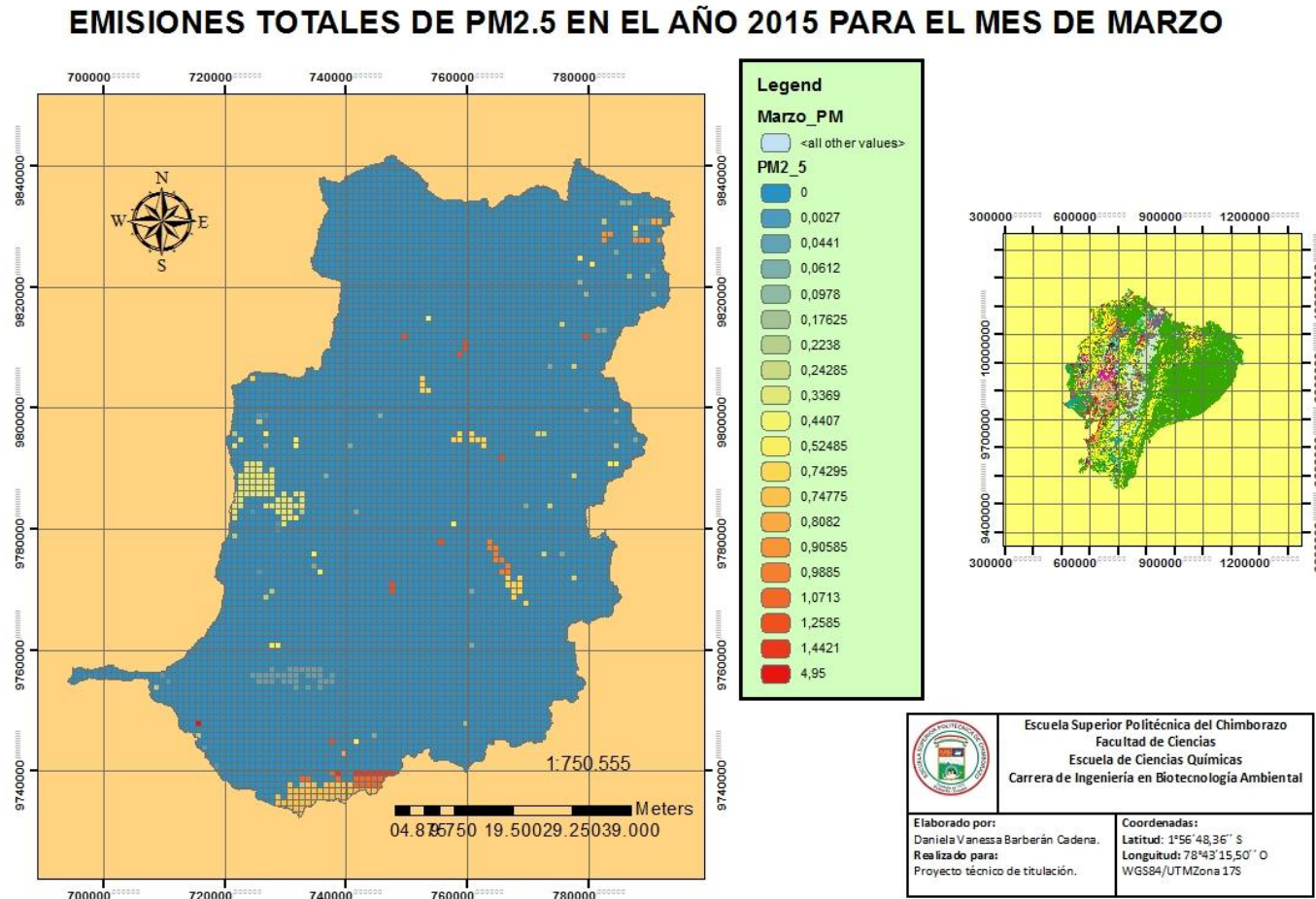
**Mapa 15-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>2,5</sub> del mes de Febrero.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE FEBRERO



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Mapa 16-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Marzo.

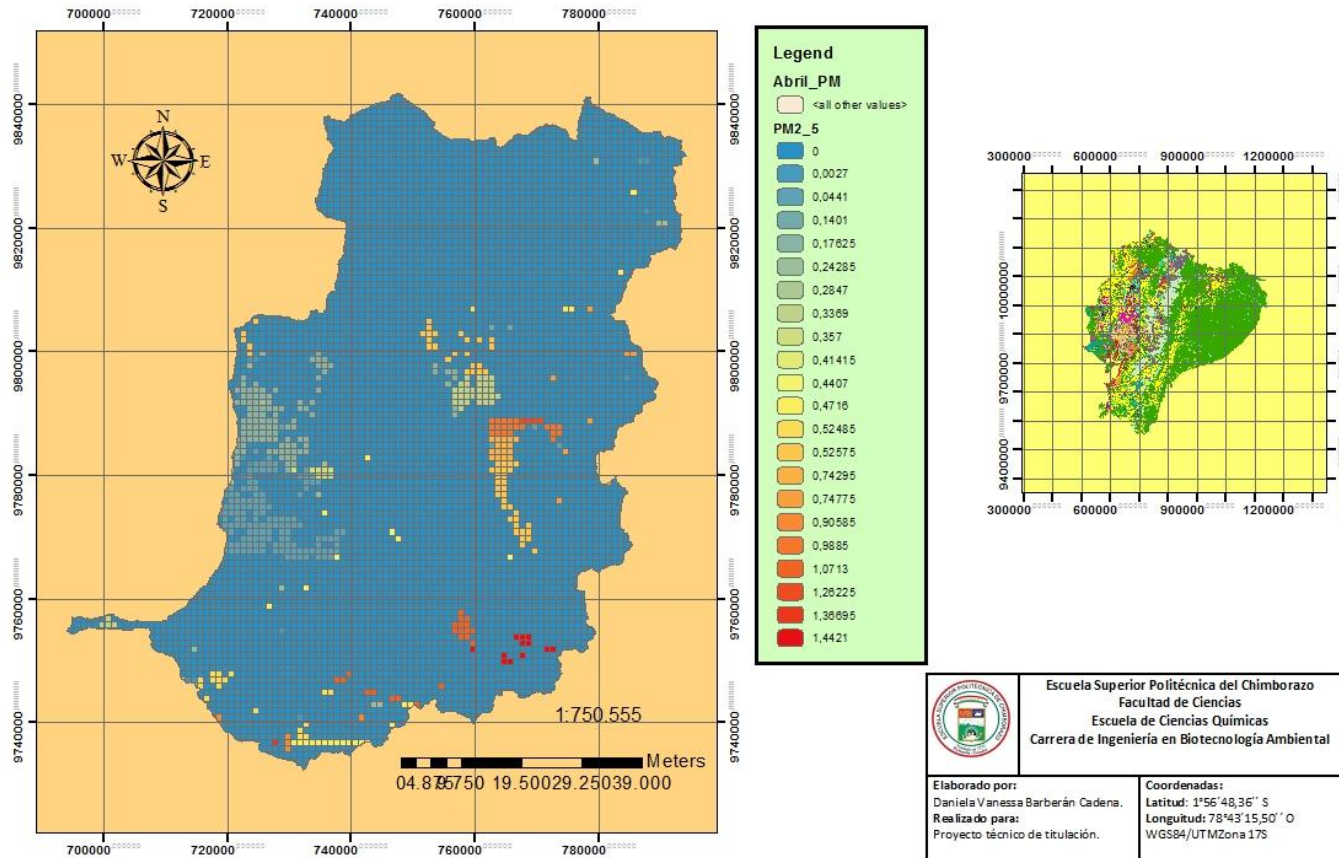


Autor: BARBERÁN, Daniela.



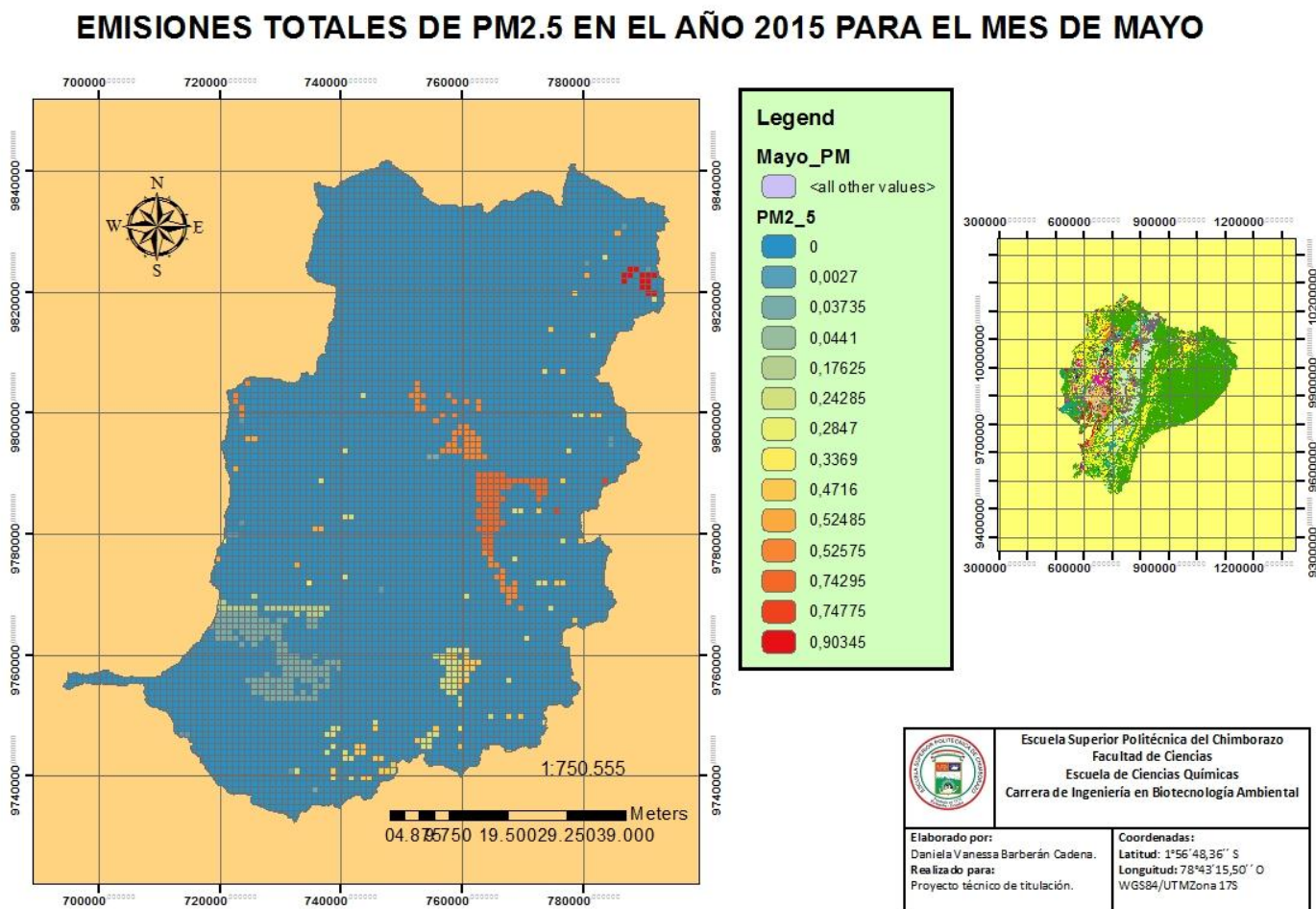
Mapa 17-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Abril.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE ABRIL



Autor: BARBERÁN, Daniela.

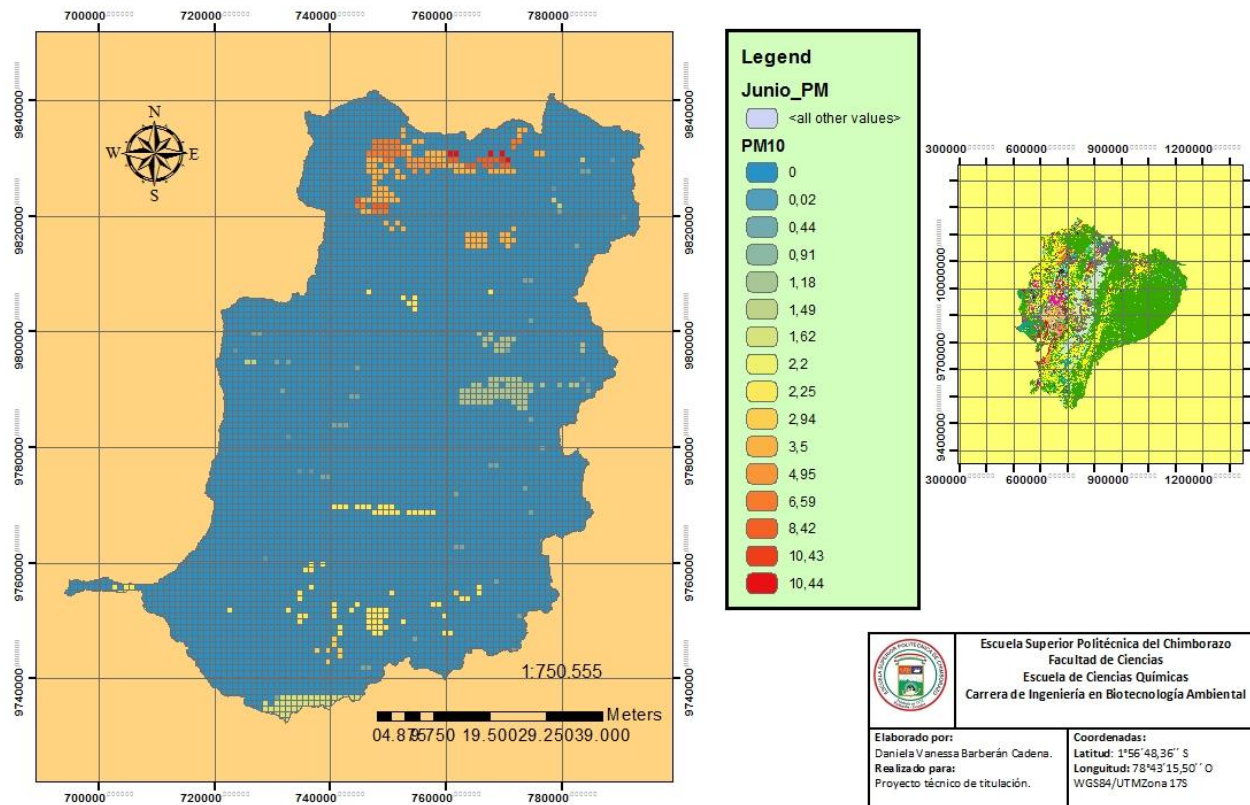
**Mapa 18-3:** Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Mayo.



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Mapa 19-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2,5</sub> del mes de Junio.

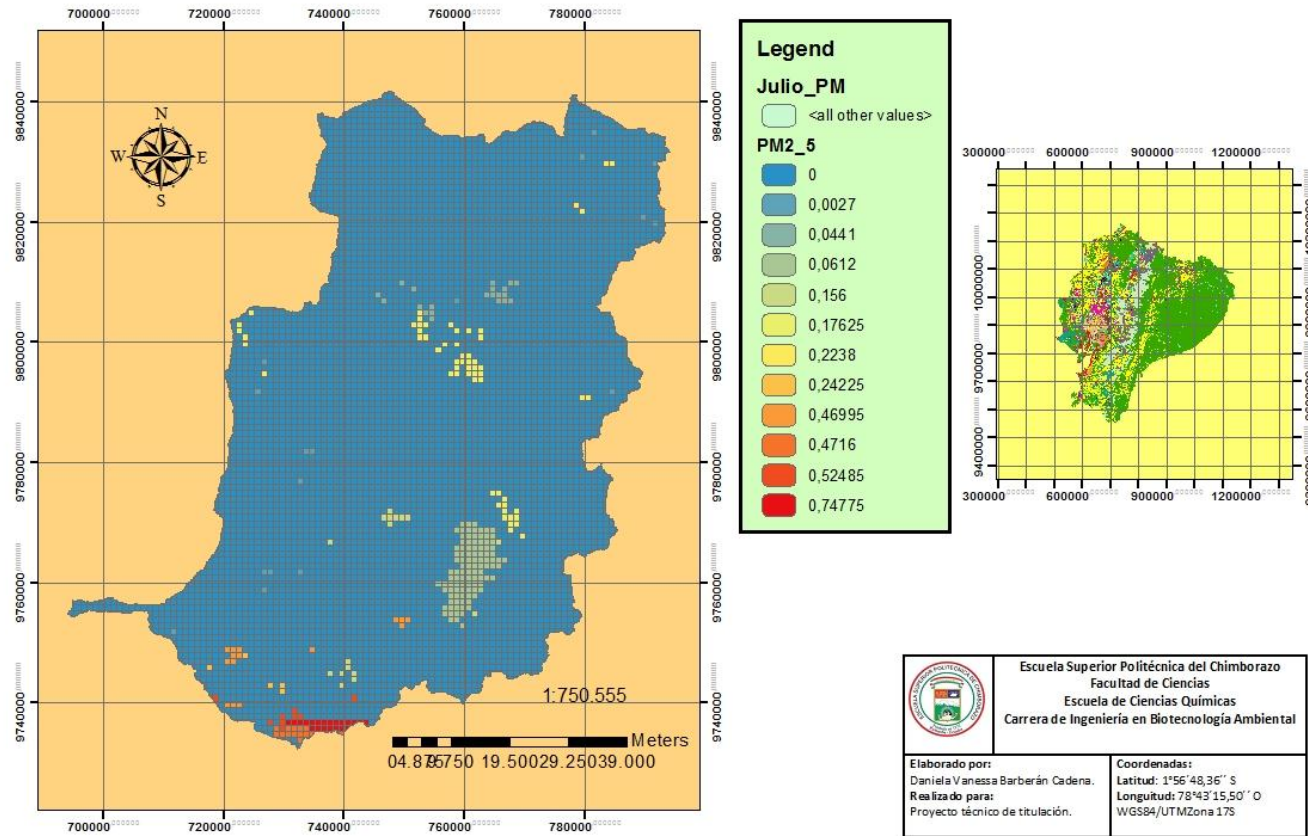
### EMISIONES TOTALES DE PM2.5 EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE JUNIO



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 20-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2,5</sub> del mes de Julio.

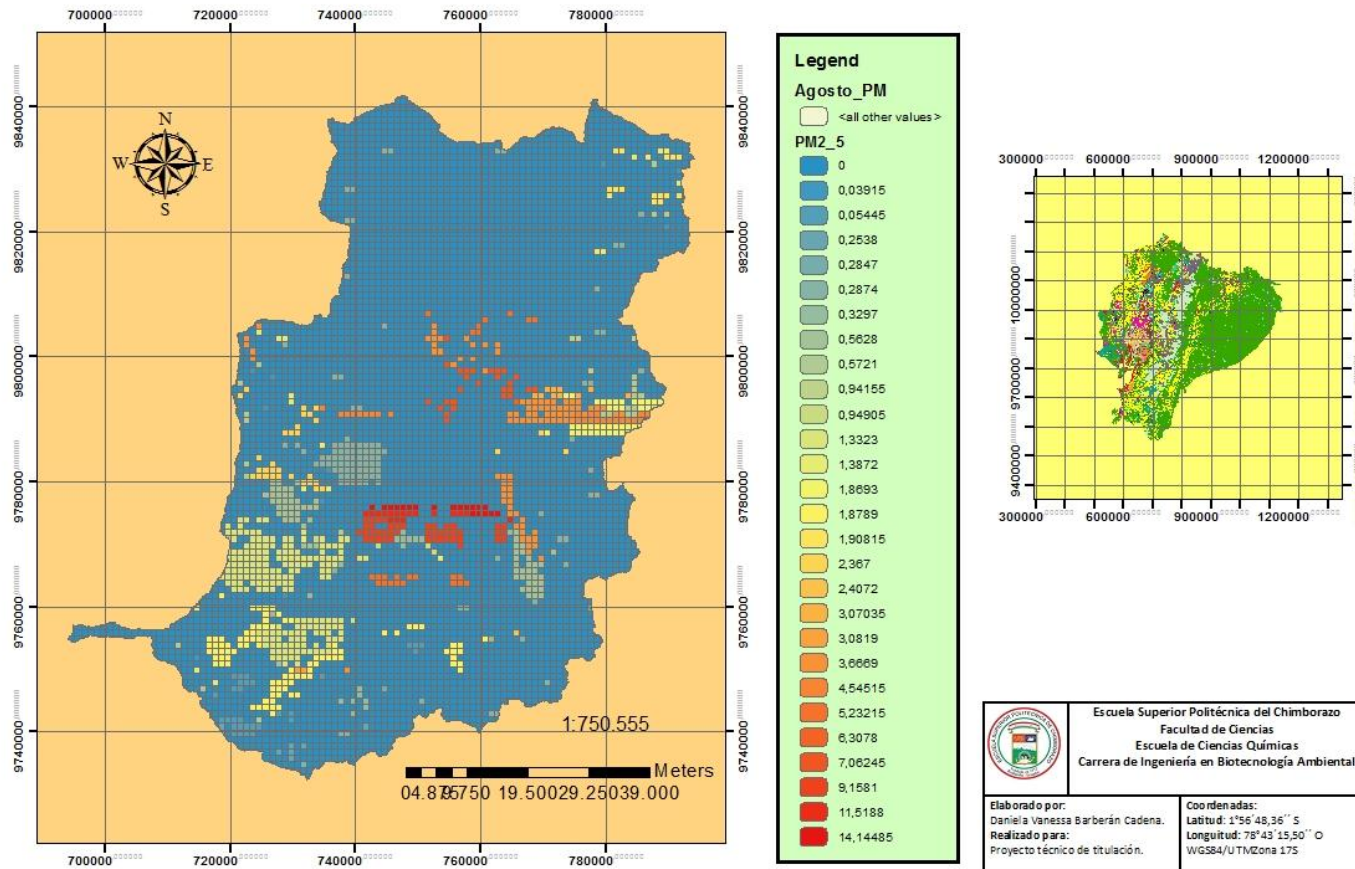
### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE JULIO



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 21-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Agosto.

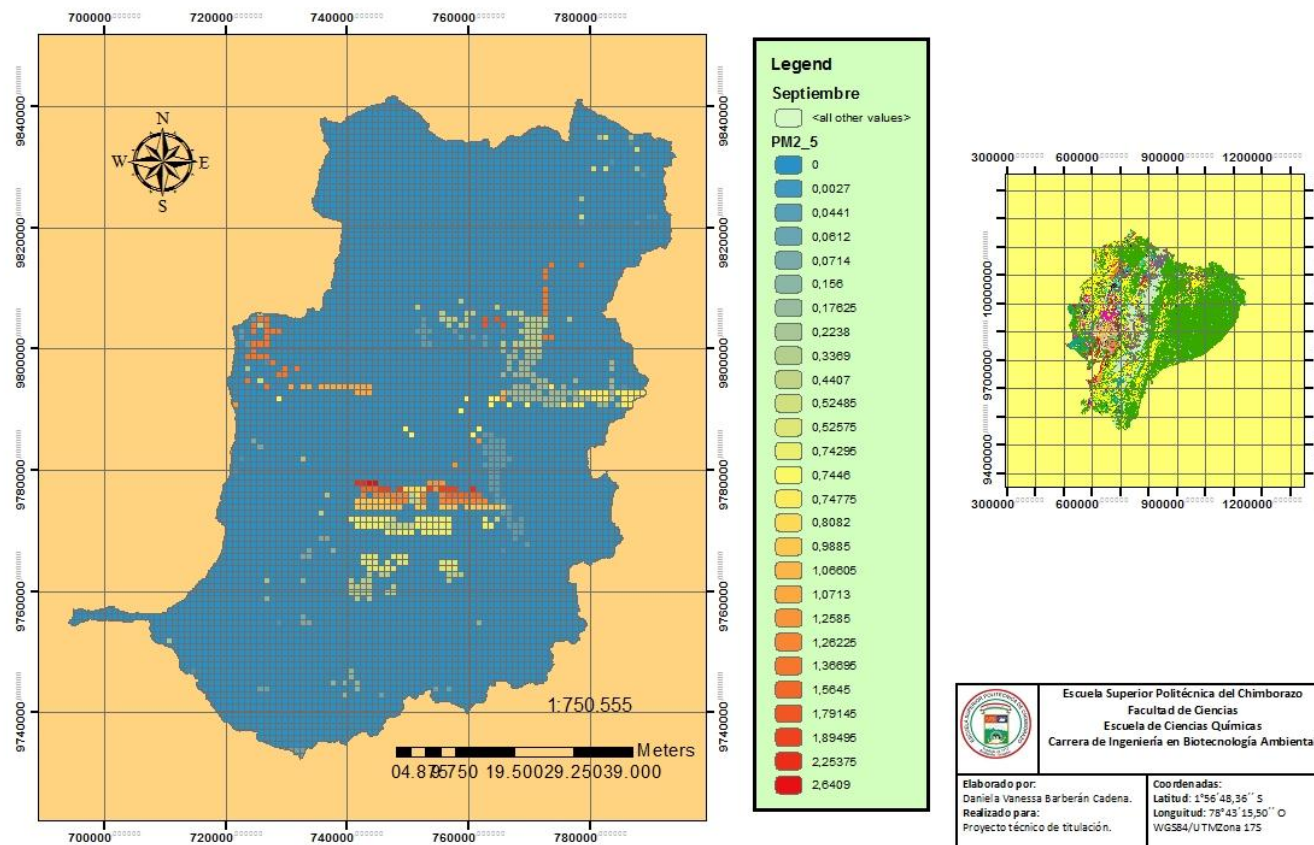
### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE AGOSTO



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 22-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Septiembre.

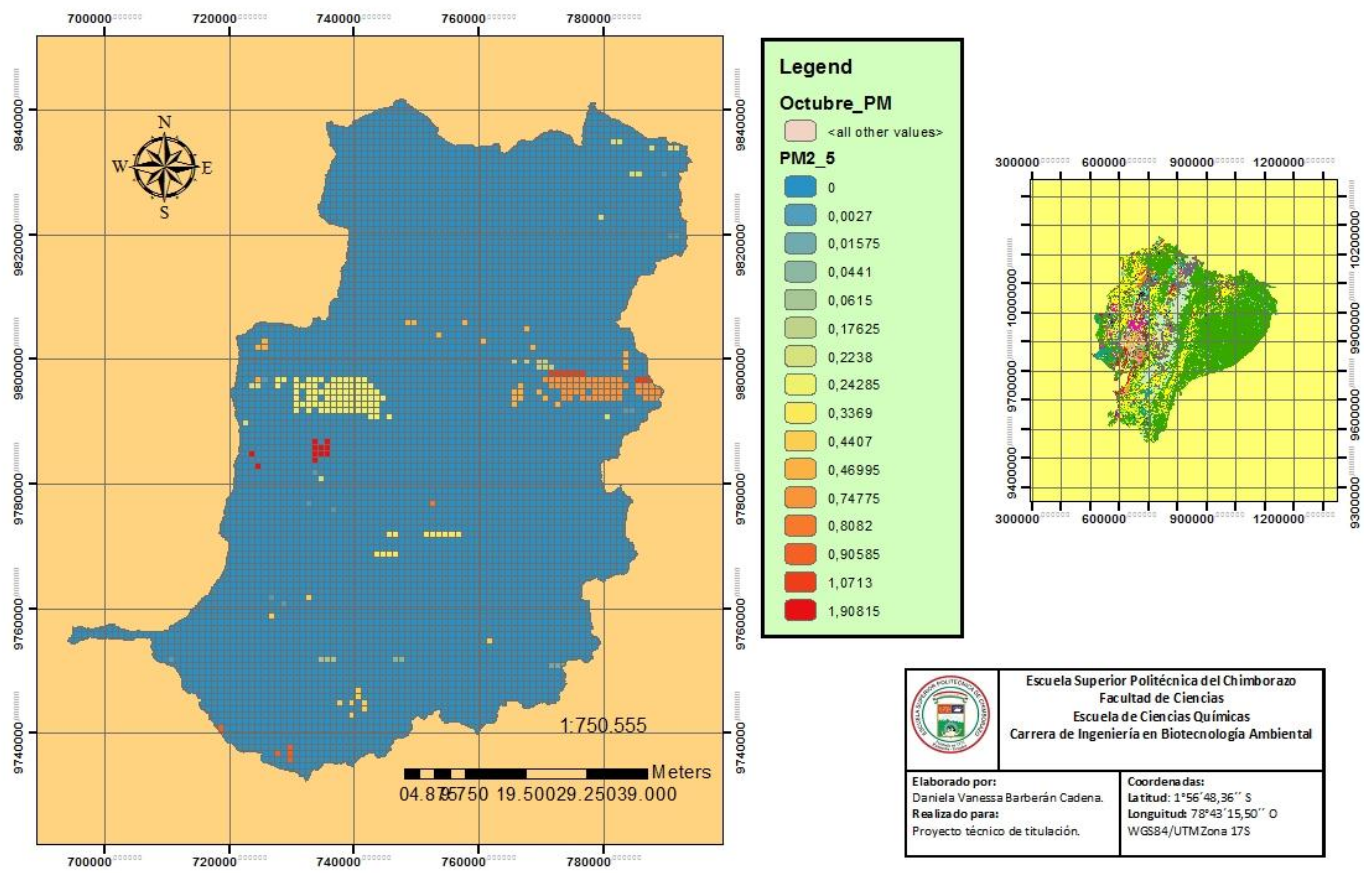
### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE SEPTIEMBRE



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 23-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Octubre.

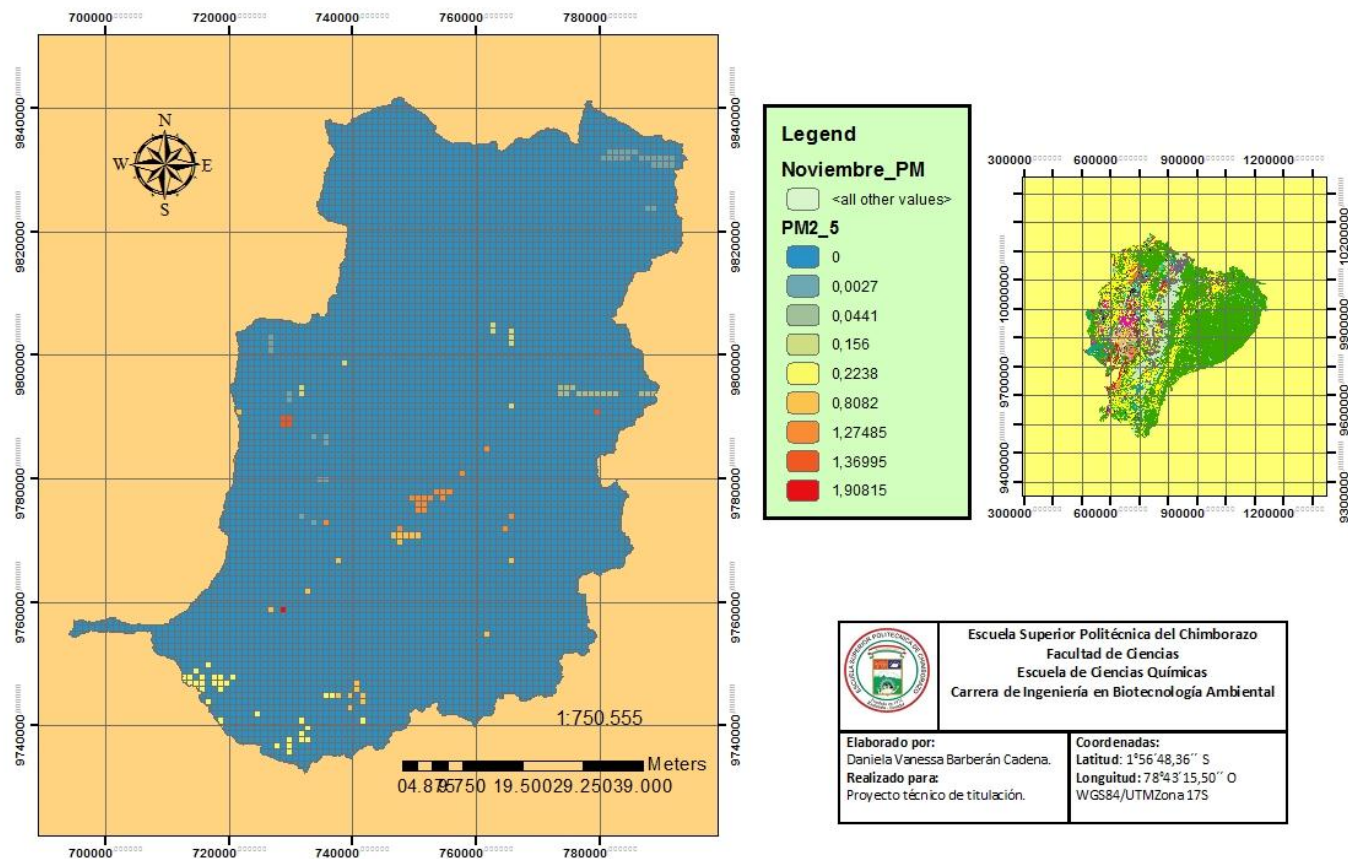
### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE OCTUBRE



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Mapa 24-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Noviembre.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE NOVIEMBRE

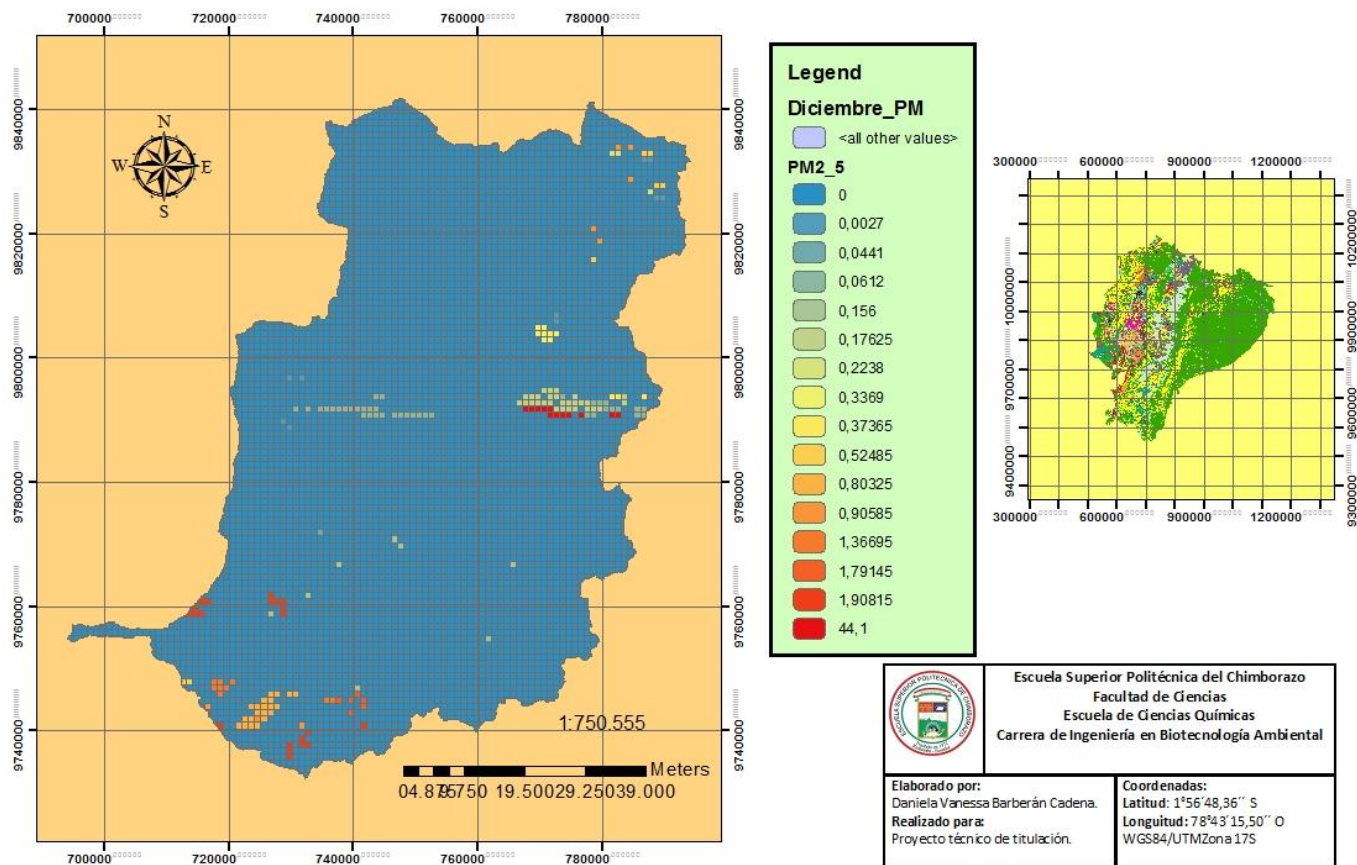


Autor: BARBERÁN, Daniela



Mapa 25-3: Mapa de emisiones totales de PM<sub>2.5</sub> del mes de Diciembre.

### EMISIONES TOTALES DE PM<sub>2.5</sub> EN EL AÑO 2015 PARA EL MES DE DICIEMBRE



Autor: BARBERÁN, Daniela

**Tabla 4-3:** Valores obtenidos de PM para cada mes del año 2015.

Mes	PM <sub>10</sub> g/m <sup>2</sup> *mes	PM <sub>2,5</sub> g/m <sup>2</sup> *mes	% de PM
Enero	889,389	133,408	3,042
Febrero	2710,449	406,567	9,271
Marzo	1099,610	164,942	3,761
Abril	1253,435	188,015	4,287
Mayo	1001,984	150,298	3,427
Junio	1172,628	175,894	4,011
Julio	434,503	65,175	1,486
Agosto	16603,975	2490,596	56,792
Septiembre	1989,100	298,365	6,804
Octubre	836,988	125,548	2,863
Noviembre	413,910	62,086	1,416
Diciembre	830,273	124,541	2,840
<b>Total</b>	<b>29236,245</b>	<b>4385,437</b>	<b>100,000</b>

Realizado por: BARBERÁN, Daniela.

El resultado obtenido de las emisiones totales de PM<sub>10</sub> en resuspensión para el 2015 es de 29236,245 g/ m<sup>2</sup>\*mes, de los cuales el 59,76% que se emitieron en el mes de Agosto. Las emisiones de PM<sub>2,5</sub> fueron del 15 % que las emisiones de PM<sub>10</sub> dando un 124,54 g/m<sup>2</sup>\*mes.

Existe mayor emisión en el mes de agosto puesto que es un mes con 31 días y los fuertes vientos empiezan a tempranas horas del día, y considerando que la nubosidad es muy baja. Los meses restantes empiezan en la tarde y casi noche, además es uno de los meses con estación seca en el Ecuador (Cuyabeno, 2016) y complementándose con el tipo de suelo más predominante que es el pastizal (MAGAP, 2016) lo cual produce una resuspensión eólica fuerte en este mes.

Mediante ArcGis se obtuvieron los mapas de emisión de PM para toda la provincia determinando que agosto como es el mes con mayor emisión de PM se observó que los cantones de Alausí y Guamote fueron los que presentaron los valores más altos en este mes es decir que la parte céntrica sur sufrió mayor resuspensión por el movimiento eólico.

Los cantones Cumandá, Chunchi, Pallatanga, Penipe, Chambo y Riobamba ocupando casi la totalidad de la superficie territorial, sufrieron emisiones por resuspensión eólica en mayor

cantidad ya que los valores oscilaron entre 0,261 a 94,299 g/m<sup>2</sup>\*mes para PM<sub>10</sub> distribuidos en todos estos cantones.

El mes de noviembre característico por ser un mes con presencia de lluvias y humedad (INAMHI, 2016, p.4) obteniendo los valores mínimos de emisión por resuspensión eólica en el año 2015 produciendo solamente 0,018 a 12,721g/m<sup>2</sup>\*mes para PM<sub>10</sub> distribuidos en los cantones de Alausí, Chunchi, Guamote y Riobamba con mínimas extensiones en el terreno.

Concluyendo finalmente que los cantones más afectados que fueron Alausí y Guamote con 94,299 g/m<sup>2</sup>\*mes para PM<sub>10</sub> en el mes de agosto y el cantón menos afectado fue Guano ya que en la mayoría de meses excepto junio con valores máximos entre 3,50 y 4,95 g/m<sup>2</sup>\*mes para PM<sub>10</sub>. Se puede observar en la figura 1-3 los valores de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> obtenidos mediante el modelo matemático durante todos los 12 meses del año 2015 siendo el 15 % del PM<sub>10</sub>, el PM<sub>2,5</sub> emitido por resuspensión eólica en la provincia de Chimborazo. (WRAP; 2011, p. 130) observando que el mes de agosto obtuvo la mayor emisión de PM y el mes de noviembre la de menor emisión de PM.

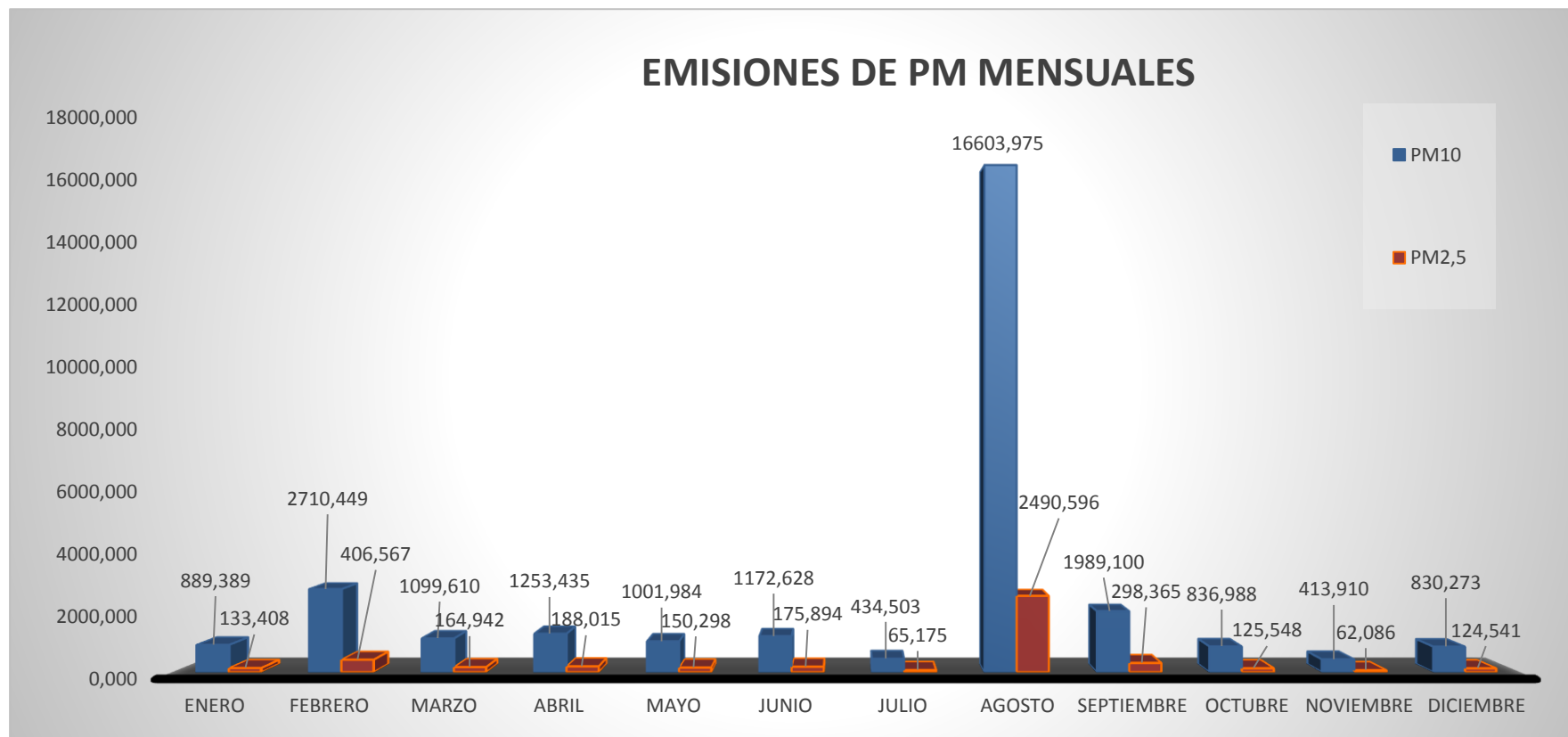
**Tabla 5-3:** Promedios de valores obtenidos de PM para cada mes del año 2015.

Mes	Mensual g/m <sup>2</sup> *mes	Semanal g/m <sup>2</sup> *semana	Diario g/m <sup>2</sup> *día
Enero	889,389	42,352	9,563
Febrero	2710,449	129,069	32,267
Marzo	1099,610	52,362	11,824
Abril	1253,435	59,687	13,927
Mayo	1001,984	47,714	10,774
Junio	1172,628	55,839	13,029
Julio	434,503	20,691	4,672
Agosto	16603,975	790,665	178,537
Septiembre	1989,100	94,719	22,101
Octubre	836,988	39,857	9,000
Noviembre	413,910	19,710	4,599
Diciembre	830,273	39,537	8,928
<b>Total</b>	<b>29236,245</b>	<b>1392,202</b>	<b>319,222</b>

Realizado por: BARBERÁN, Daniela.

En la tabla 5-3, se puede observar los valores obtenidos mensuales, semanales y diarios para todos los meses del año 2015 en g/ m<sup>2</sup>\*mes<sup>1</sup>de PM<sub>10</sub> para toda la provincia de Chimborazo.

Figura 1-3: Valores obtenidos para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.



Autora: BARBERÁN, Daniela.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que las zonas de la provincia de Chimborazo con mayor afectación por material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) debido al movimiento eólico conforme al mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador fueron los cantones de Alausí y Guamote con  $94,299 \text{ g/m}^2 \cdot \text{mes}$  para  $PM_{10}$  en el mes de agosto y el cantón menos afectado fue Guano ya que en la mayoría de meses excepto junio no se obtuvo emisiones de PM.
- Se aplicó el modelo matemático el informe WRAP Fugitive que se encuentra en Dust Handbook Countess Environmental de la asociación de gobernadores propuesto para estimar las emisiones de partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) en suspensión eólica para la provincia de Chimborazo mediante la caracterización de emisiones en la fuente con el uso de los mapas de velocidad de los vientos, mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador y los valores de umbral de fricción establecidos en la literatura dándonos una estimación acertada para la simulación.
- Aplicamos el *software* ArcGis para obtener los datos de emisiones de PM de todo el año 2015 con lo cual se creó una base de datos para modelaciones matemáticas que serán de gran ayuda en un futuro producto del cual se obtiene un inventario de emisiones que pueden ser usado tanto en proyectos o estudios futuros, de tal manera que se pueda volver a repetir este modelamiento para los años siguientes ya que una de las ventajas fue el bajo costo en la creación de este proyecto técnico el cual nos da una idea clara de los niveles de PM emitidos en la provincia.
- Realizamos mapas mediante el *software* ArcGis tanto para la velocidad de viento con datos reales medidos y obtenidos gracias al INAMHI para todos los meses del año 2015 y también se realizó la creación de los mapas para las emisiones de PM obtenidas por la modelación matemática la cual implicaba la interpolación de datos cubriendo toda la provincia de Chimborazo para los 12 meses del año 2015 mediante la herramienta Spline en el cual me permita combinar el grado de contaminación con respecto a las variables meteorológicas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con los mapas de cobertura y uso del suelo más actualizado o del año con el que se desee trabajar puesto que en esta modelación se puede ocupar el mapa de cualquier año tomando en cuenta que la veracidad de los datos no será del 100% confiable.
- Se recomienda al INAMHI tener una permanente vigilancia de los estados de funcionamiento de las estaciones meteorológicas para que estén en permanente uso así como la implementación en lo posible de más estaciones dentro de la provincia de Chimborazo para aumentar el grado de confianza y exactitud de las posibles modelaciones que se pueden realizar.
- Se sugiere al INAMHI tener datos más precisos y con más frecuencia en nuestro caso de velocidad del viento debido que en muchas estaciones se encontraban datos vacíos o incompletos.
- Se recomienda trabajar junto a un especialista en programación sobre todo de ArcGis para poder realizar las interpolaciones adecuadamente y en orden.
- Realizar medidas preventivas y de control con respecto a los cultivos de pastizal y los lugares donde se lo realiza con el fin de disminuir el sobrepastoreo y proteger los páramos de la provincia de Chimborazo.
- Se recomienda realizar estudios con un grupo de expertos para la obtención de la velocidad umbral de fricción de acuerdo a los tipos de suelos presentes en la provincia de Chimborazo y de acuerdo a las características de cada tipo de suelo para obtener datos reales para el Ecuador.
- Realizar en lo posible un estudio con los equipos necesarios para realizar una comparación de las emisiones obtenidas por simulación matemática y por equipo especializados en la medición de material particulado, y así determinar los máximos permisibles y realizar medidas de control y prevención.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARCGIS**, *ArcNews Online*. p. 2-10, [En línea], 2016, [Consulta: 02-10-2016], Disponible en: <http://www.esri.com/>

**BUÑAY, Socorro**. *Características de los pastizales en las tres regiones, litoral, Interandina y Amazonia*, 09-11-2015 [blog], [Consulta: 03-01-2017], Disponible en: <http://cienciasnaturalesff.blogspot.com/2015/11/caracteristicas-de-los-pastizales-en.html>

**CHALACÁN, Roberto**. *Evaluación de PM10 y PM2.5 en la ciudad de Riobamba afectada por el volcán Tungurahua y validación del método de análisis*. (Tesis). (Ing. Ambiental). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba -Ecuador. 15-08-2009, pp. 25-50.

**CORPAIRE**. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Sector energía*. Autor: Juan Carlos Vaca, Quito 2014, pp. 6-31. [Consulta: 19-07-2016], Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/inven\\_gei\\_dmq\\_2011\\_energ%20.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/inven_gei_dmq_2011_energ%20.pdf)

**CUYABENO, Lodge**. *Clima del Ecuador por regiones. 0 zonas climáticas del Ecuador*, Edificio Shyris Park Avenida de los Shyris N36-188, Quito –Ecuador, 2016. [Blog], [Consulta: 03-01-2017], Disponible en: <http://cuyabenolodge.com/turismo-amazonas/clima-de-ecuador.htm>

**GADPCH**, Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo. Pagina principal. [En línea], 2016, [Consulta: 17-08-2016], Disponible en: <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/>

**GAIBOR, Verónica**. *Determinación de la concentración de material particulado del centro histórico de la ciudad de Riobamba en el período 2014*. (Tesis). (Ing. Ambiental). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba -Ecuador. 2015, pp. XVI.

**ECUADOR, TULSMA**, *Anexo 4*, Norma de Calidad Ambiental, Quito – Ecuador, 23-05-2012, p. 3-13 [Consulta: 20-11-2016].

**EMOV.** Red de Monitoreo de Calidad del Aire. *Inventario de emisiones*. [En línea], 2016, [Consulta: 30-05-2016], Disponible en:<http://www.emov.gob.ec/?q=content/red-de-monitoreo-de-la-calidad-del-aire>

**GARCÍA, Héctor.** *Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión*. [En línea], Bogotá – Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2006, pp. 3-25, p. 6-20. [Consulta: 20-10-2016], Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=T87uEuVP84kC&pg=PA6&dq=material+particulado+2,5&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjb376Fr5HOAhWIOyYKHbxtCe4Q6AEIGjAA#v=onepage&q=material%20particulado%20%2C5&f=false>

**INAMHI.** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. *Boletín climatológico anual 2015*. [En línea], No. 002, Quito – Ecuador, 2016, p. 3-10. [Consulta: 26-12-2016], Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/.pdf>

**INEC.** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador. *Georeferenciación, estadísticas y censos del año 2010*. [En línea], 2016, p. 6-12. [Consulta: 26-04-2016], Disponible en:<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

**JIMENO, Antonio.** *La atmósfera*. [En línea], 23-08-2005, [Consulta: 18-07-2016], Disponible en:<http://www.aula2005.com/html/cn1eso/07atmósfera/07atmósferases.htm>

**MAE.** Ministerio del Ambiente Ecuador. *Plan Nacional de la Calidad del Air*. [En línea], República del Ecuador. Única Edición. Quito - Ecuador. 2010, Edición I, 20-05-2010, p. 3-20. [Consulta: 09-10-2016], Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-final.pdf>,

**MAGAP,** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Apicultura y Pesca del Ecuador. *Inventario de recursos naturales, nivel nacional*. Geoportal del Agro Ecuatoriano: <http://www.agricultura.gob.ec/>. [En línea], Av. Amazonas y Av. Eloy Alfaro Código Postal: 170516, Quito-Ecuador., 03-08-2016, p. 5- 20 [Consulta: 19-10-2016], Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/>,

**NESTA.** *Windows to the universo*. [En línea], 10-02-2009, [Consulta: 16-11-2016], Disponible en: <http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/clouds/optics.html>

**OMM,** *Comunicados de prensa*. [En línea], Press Release Number: 2, La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2015 es el año más caluroso jamás registrado, 25-01-2016,



[Consulta: 26-12-2016], Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-confirma-que-2015-es-ela%C3%B1o-m%C3%A1s>

**OMS.** Organización mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Resumen de la evaluación de los riesgos*, p. 7-20.[En línea], 23-02-2006, Actualización mundial 2005. (Publicación). Ginebra - Suiza. 2006, pp. 1-25. [Consulta: 26-12-2016], Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)

**SÁNCHEZ, María.** *Estimación de las Emisiones de PM10 y PM2.5 por Resuspensión Eólica en Ecuador durante el año 2010.* (Tesis). (Ing. Ambiental). Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito – Ecuador, 20-05-2013, pp. 1-99. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2106/1/106835.pdf>

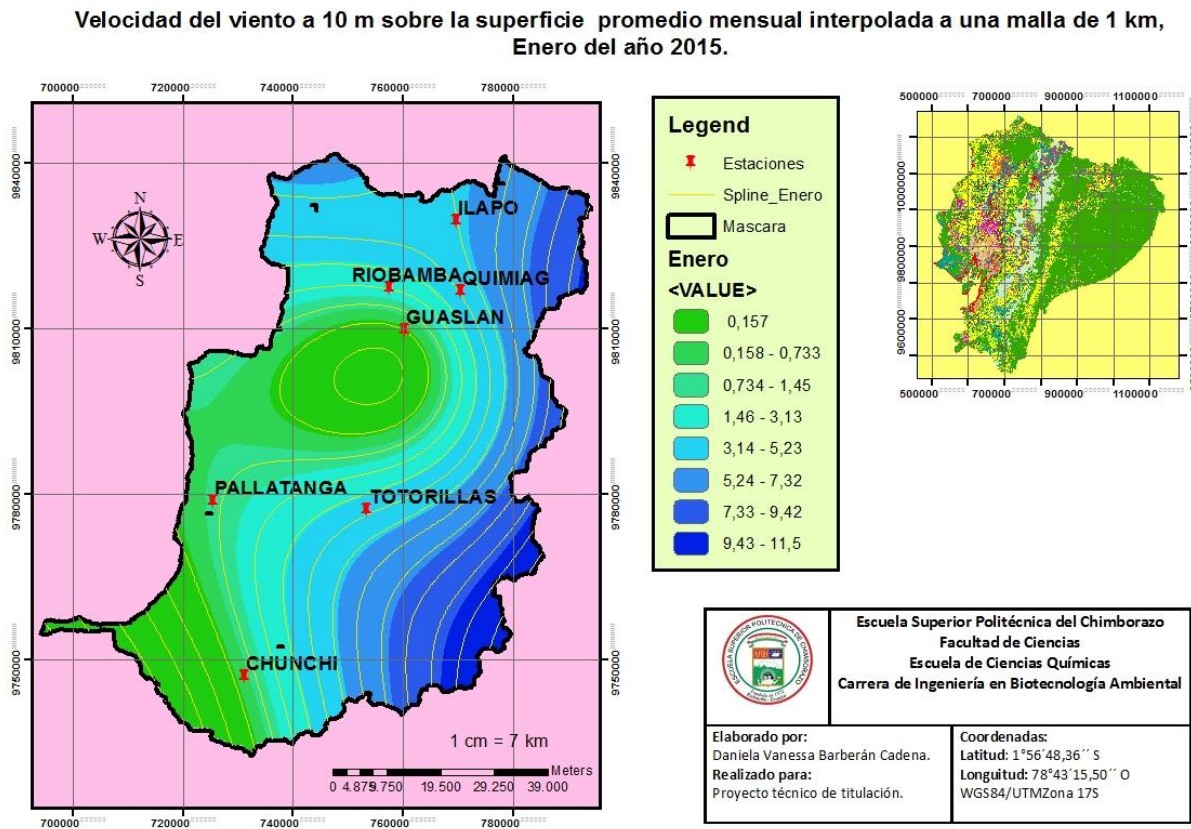
**VILLACRÉS, María.** *Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado.* (Tesis). (Ing. Ambiental). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba -Ecuador. 2015, pp. VI

**WRAP,** *Fugitive Dust Handbook.* [En línea], Countess Enviromental, Western Governor's Association, Westlake Village, California, 06 de Septiembre del 2011. Publicado en el año 2011, pp. 129-133. [Consulta: 28-11-2016], Disponible en: [http://ulpeis.anl.gov/documents/dpeis/references/pdfs/Countess\\_Environmental\\_2006\\_WRAP\\_Fugitive.pdf](http://ulpeis.anl.gov/documents/dpeis/references/pdfs/Countess_Environmental_2006_WRAP_Fugitive.pdf)

ANEXO:

Anexo A:

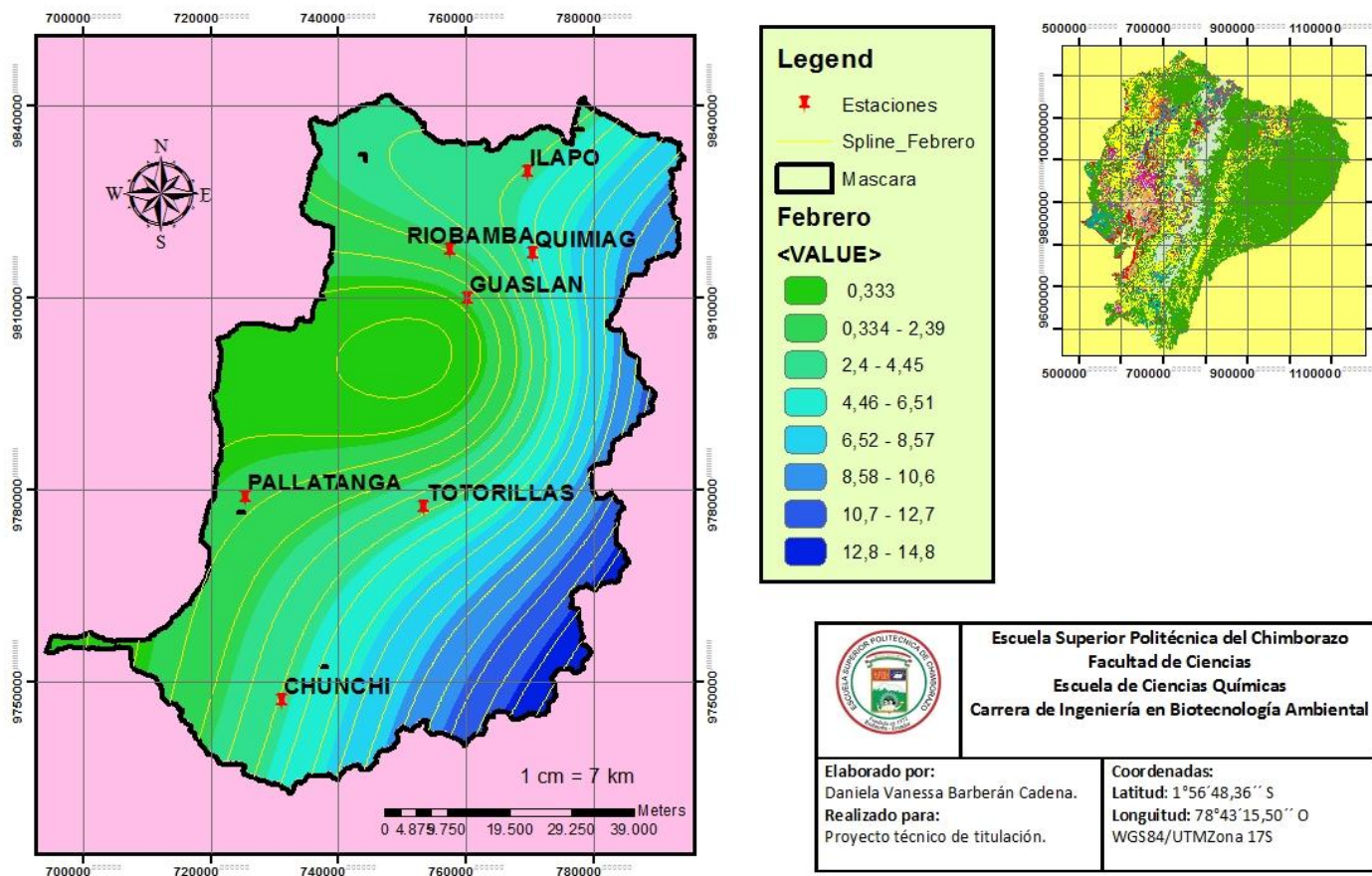
Anexo 1 A: Mapa de velocidad del viento del mes de Enero del 2015.



Autor: BARBERÁN, Daniela.

Anexo 2 A: Mapa de velocidad del viento del mes de Febrero del 2015

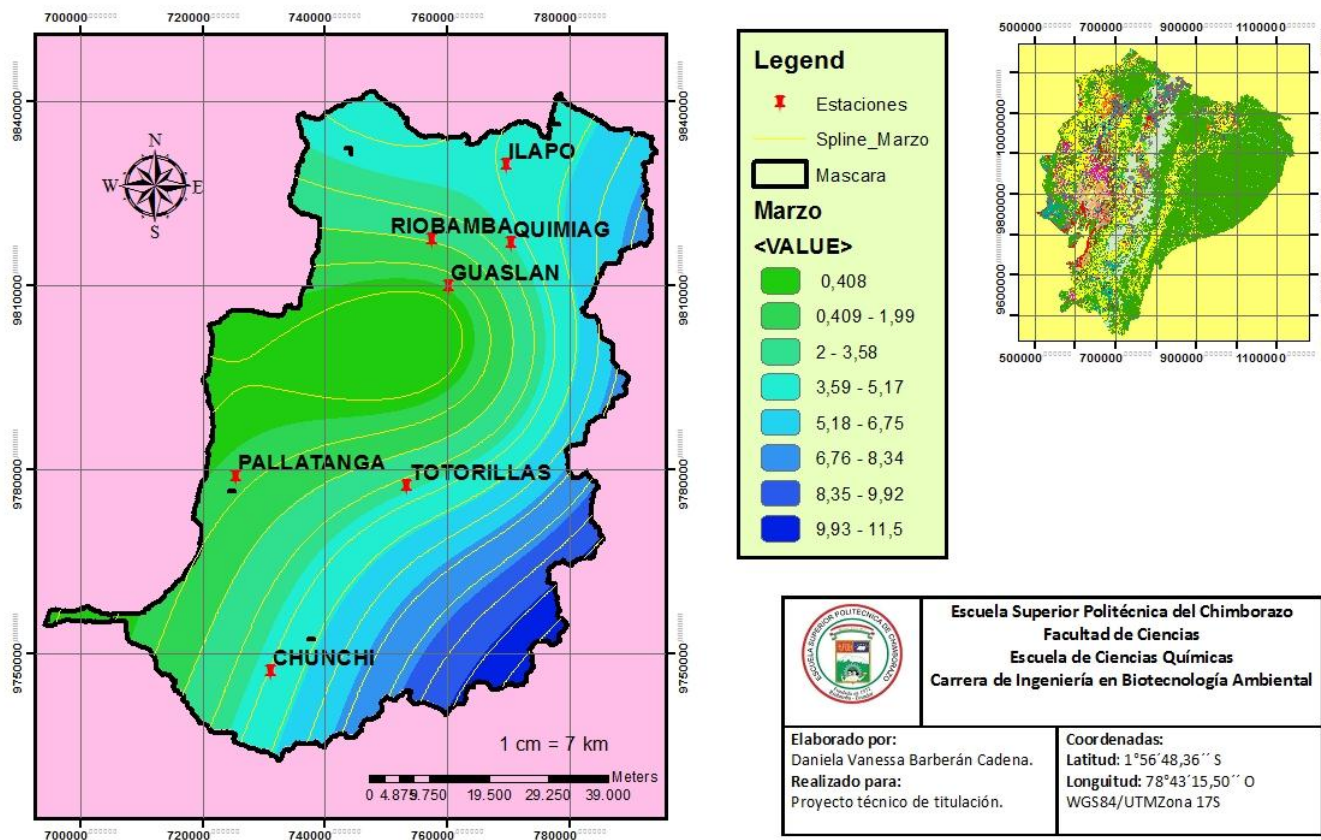
Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Febrero del año 2015.



Autor: BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 3 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Marzo del 2015.

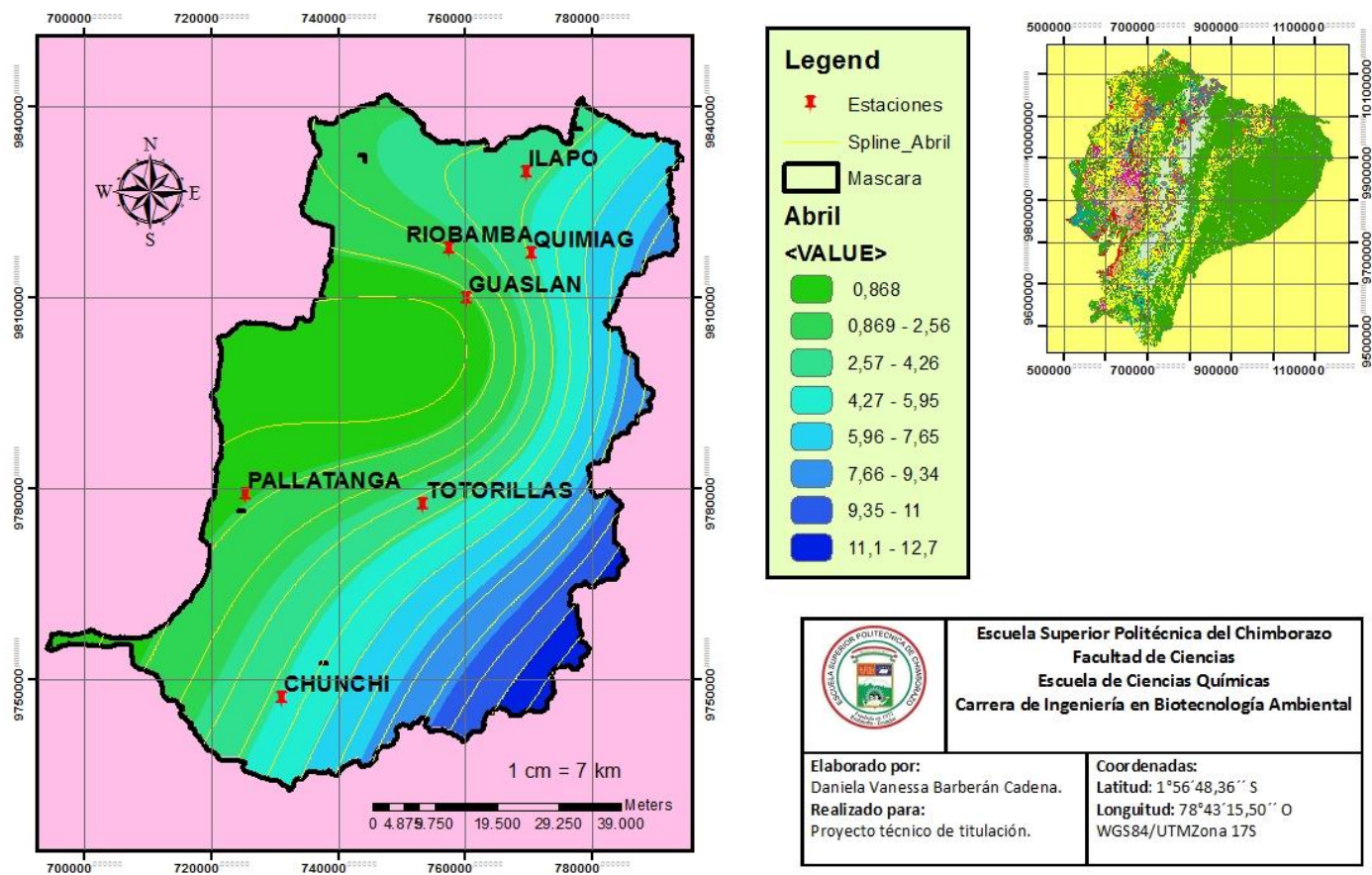
**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Marzo del año 2015.**




**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 4 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Abril del 2015.

**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Abril del año 2015.**

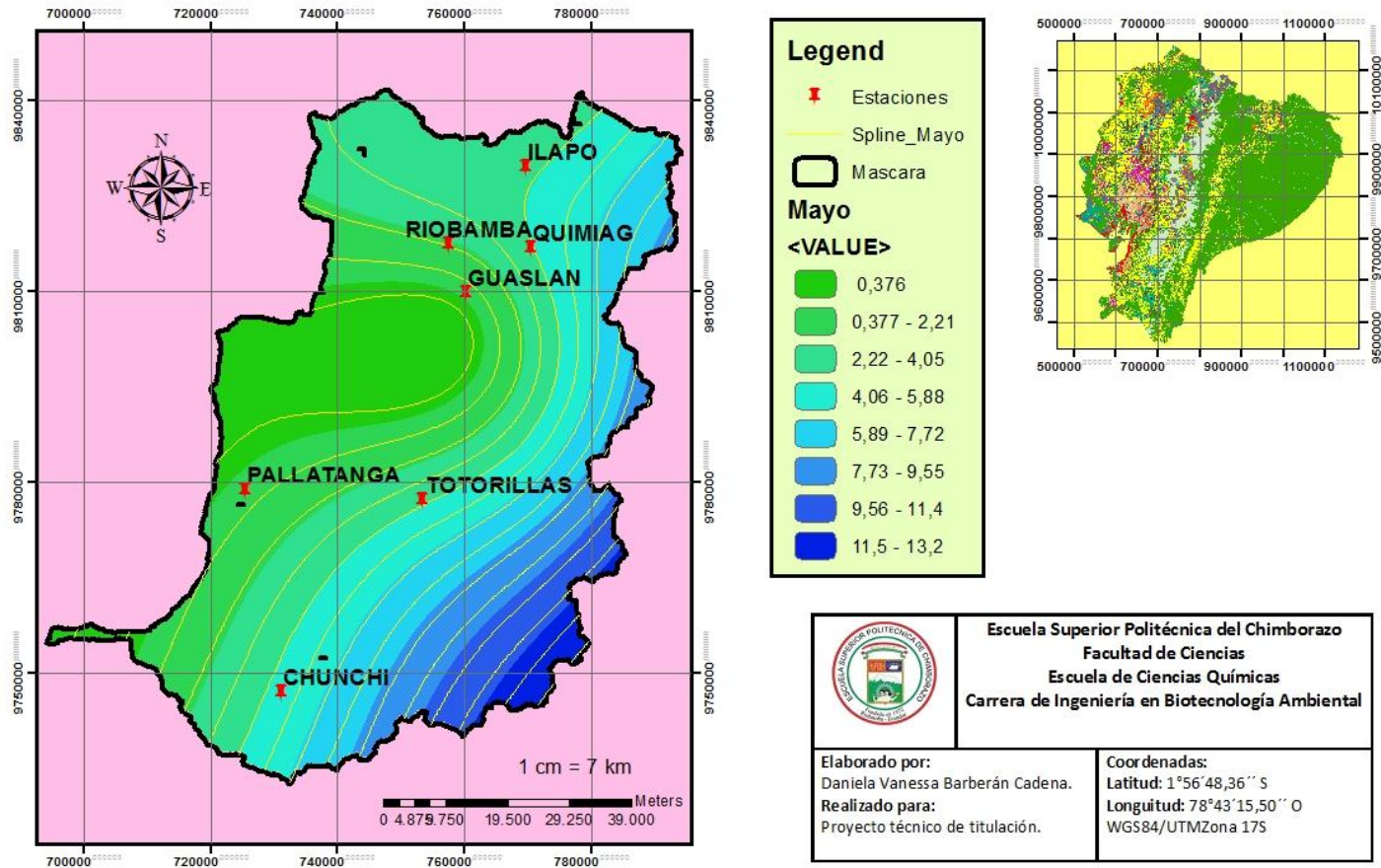


**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

	<b>Escuela Superior Politécnica del Chimborazo</b> Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental	
	Elaborado por: Daniela Vanessa Barberán Cadena. Realizado para: Proyecto técnico de titulación.	Coordenadas: Latitud: 1°56'48,36" S Longitud: 78°43'15,50" O WGS84/UTM Zona 17S

Anexo 5 A: Mapa de velocidad del viento del mes de Mayo del 2015.

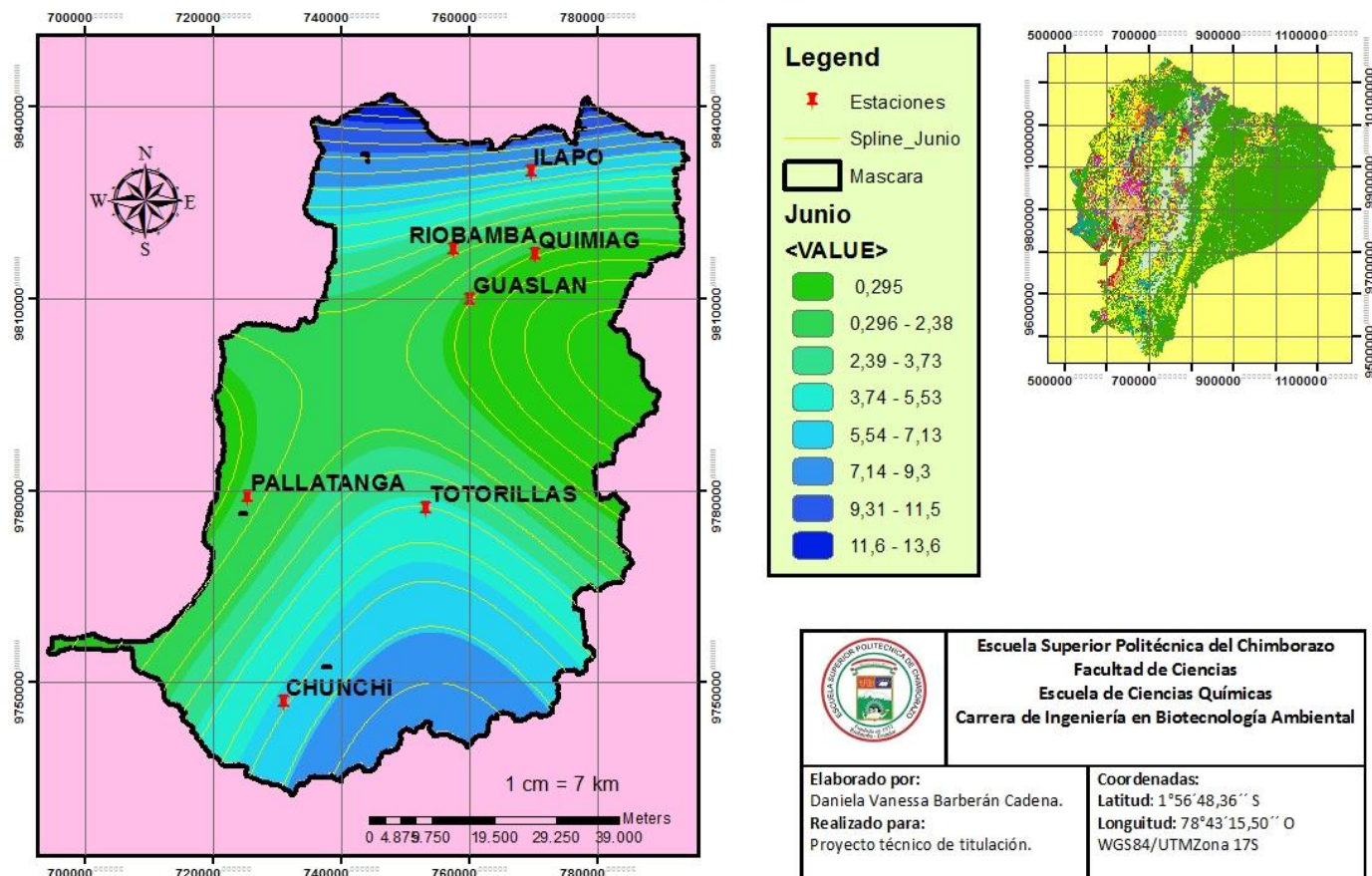
Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Mayo del año 2015.



Autor: BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 6 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Junio del 2015.

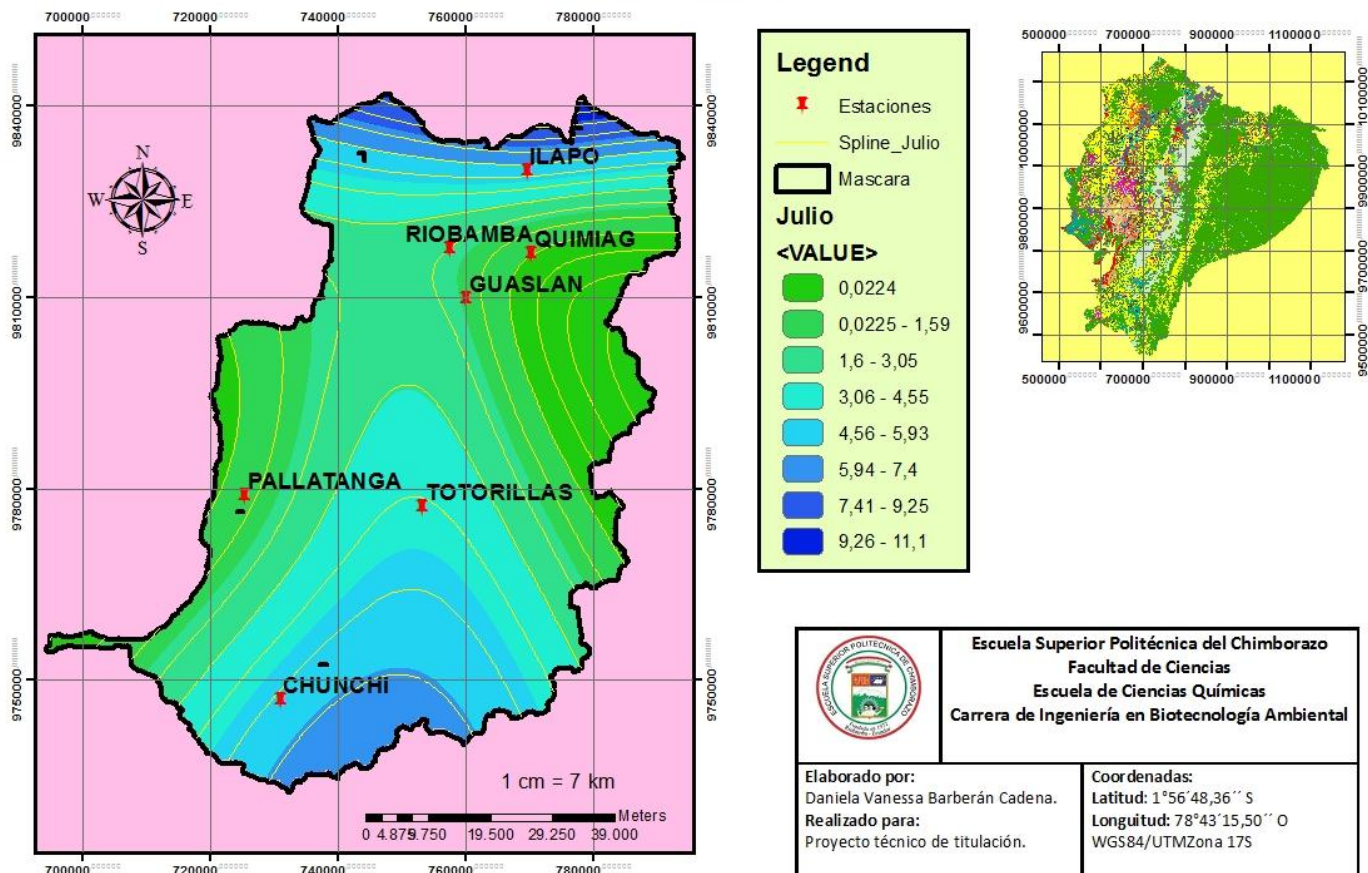
**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Junio del año 2015.**



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 7 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Julio del 2015.

**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Julio del año 2015.**

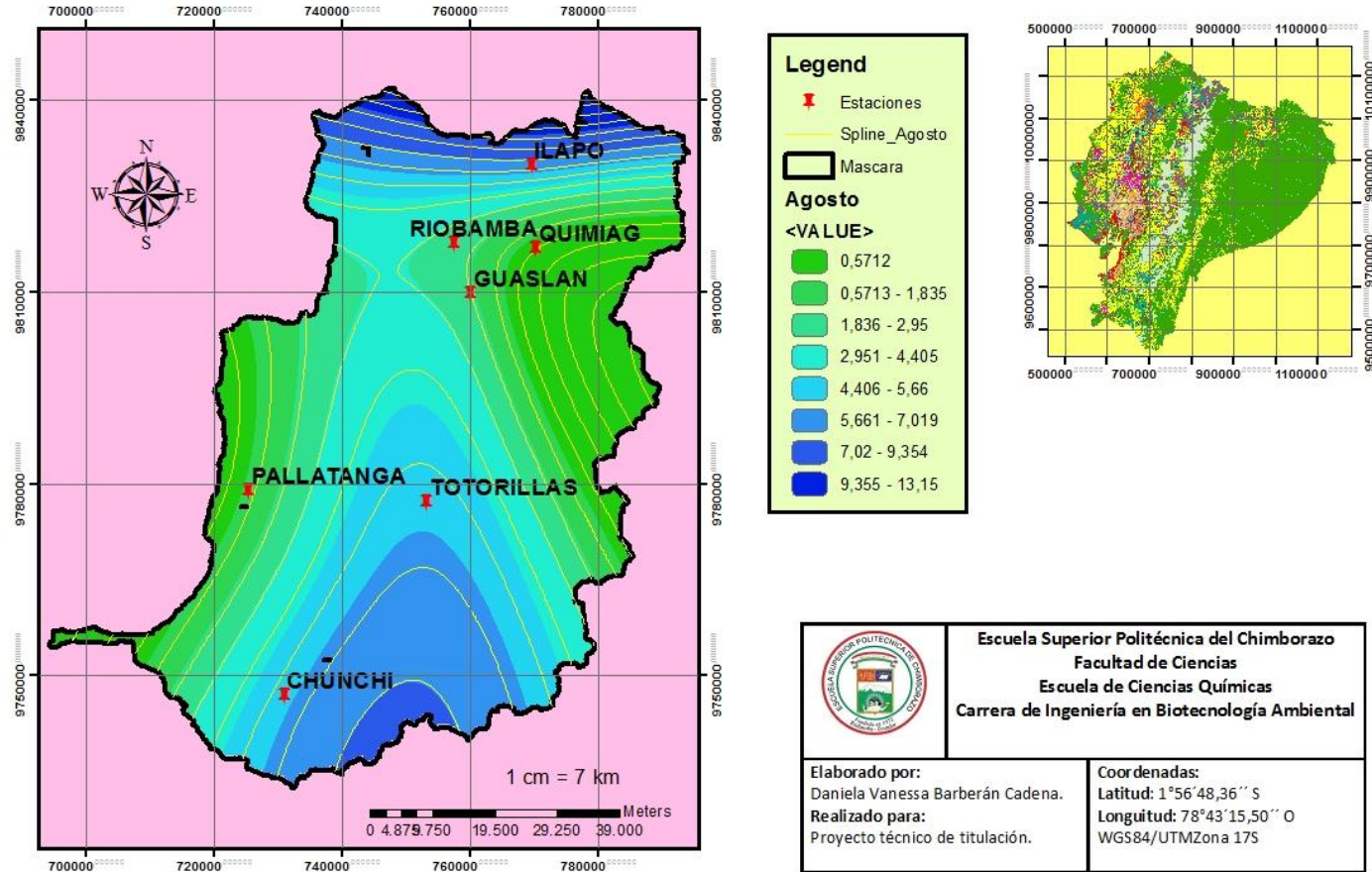


**Autor:** BARBERÁN, Daniela.



**Anexo 8 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Agosto del 2015.

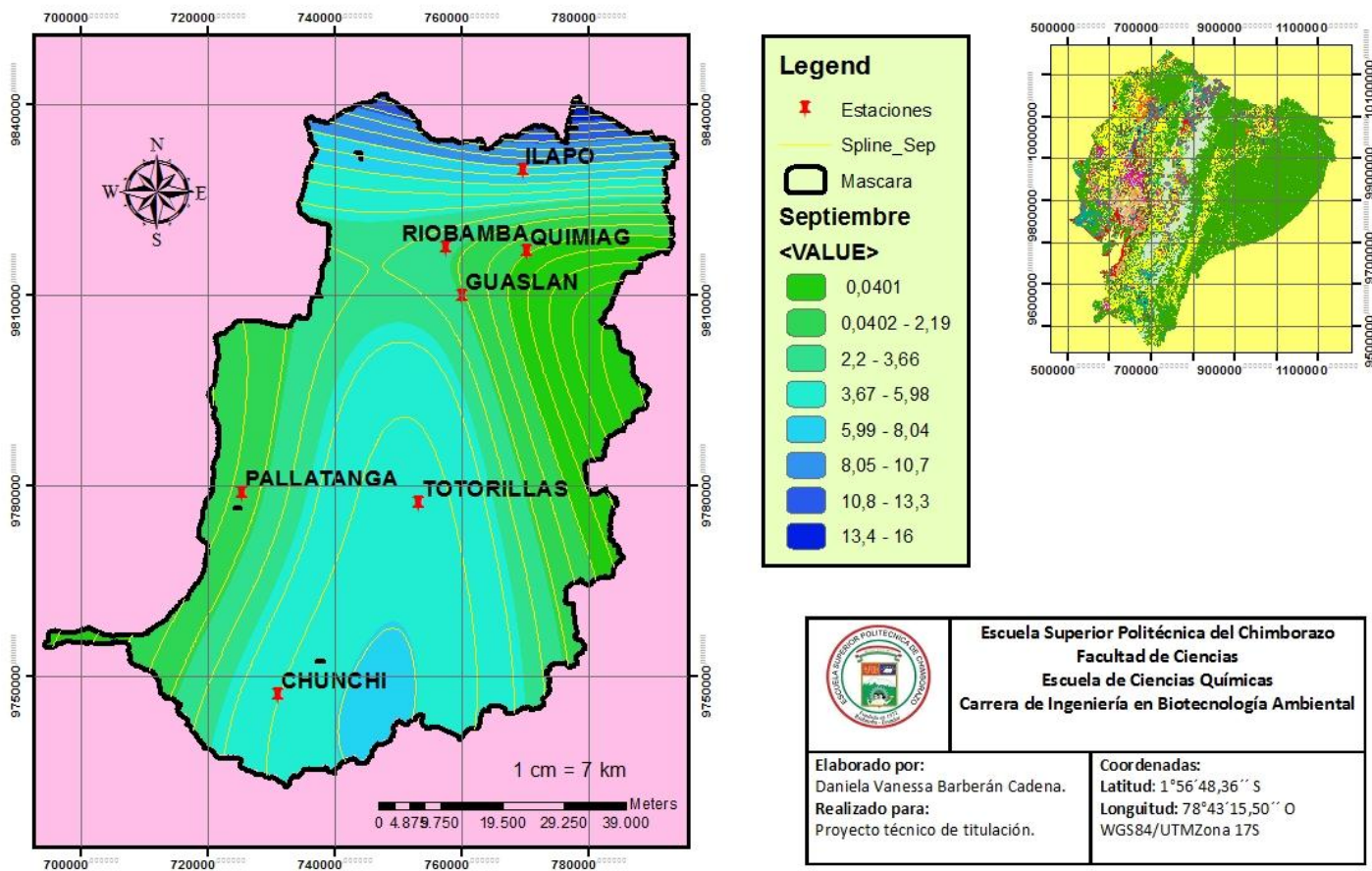
**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Agosto del año 2015.**



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 9 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Septiembre del 2015.

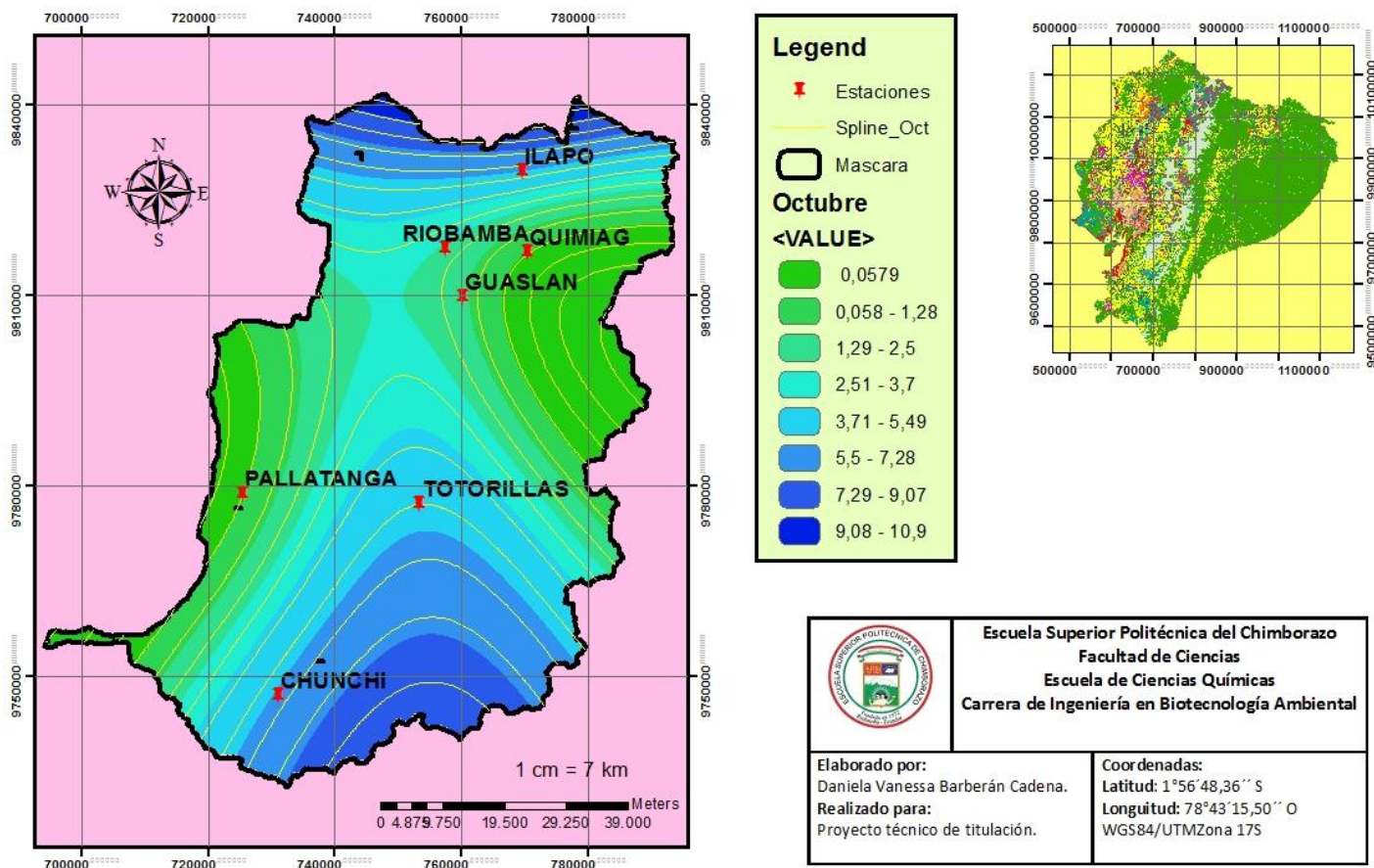
**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Septiembre del año 2015.**



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Anexo 10 A: Mapa de velocidad del viento del mes de Octubre del 2015

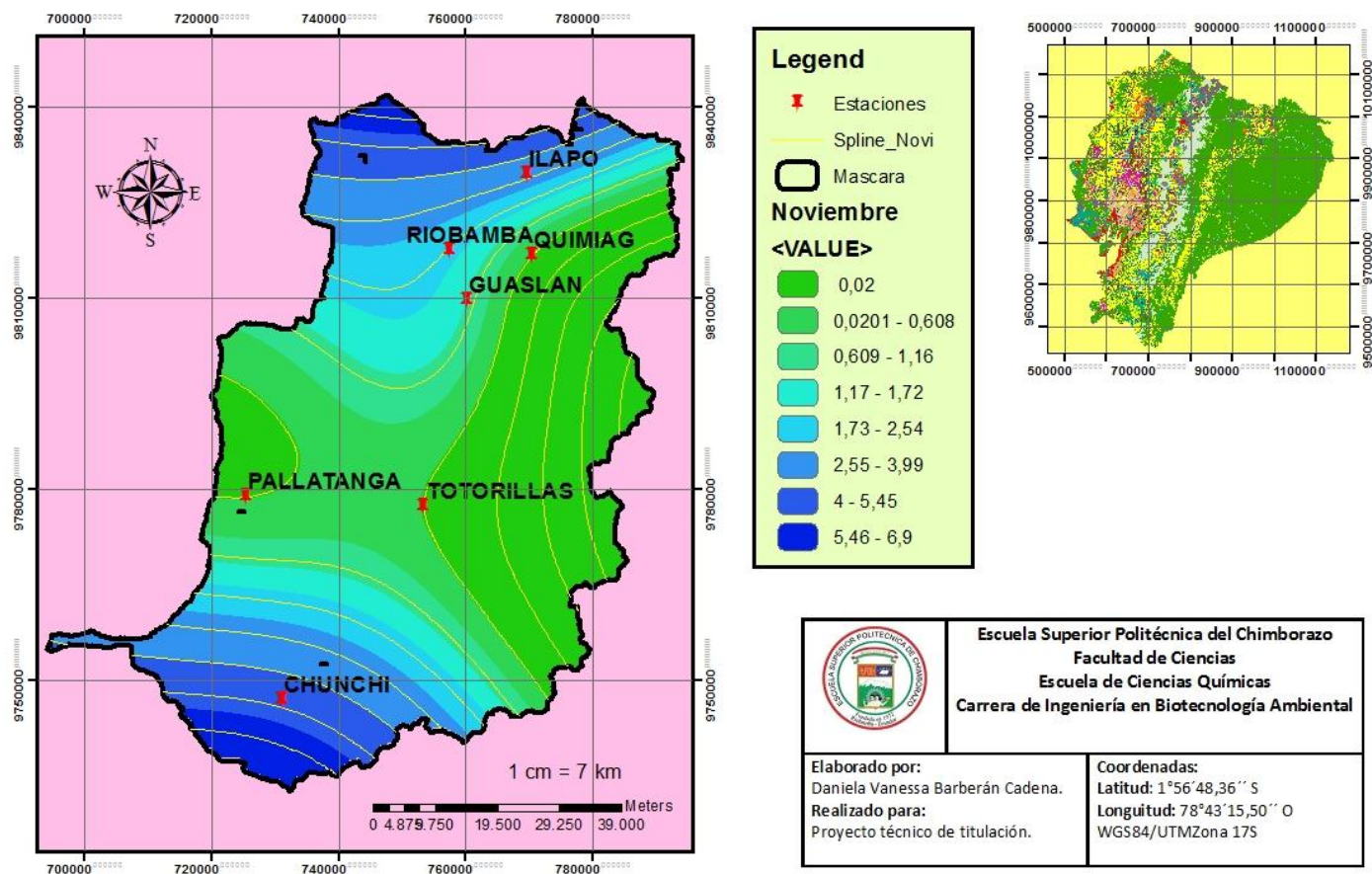
Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Octubre del año 2015.



Autor: BARBERÁN, Daniela.

**Anexo 11 A:** Mapa de velocidad del viento del mes de Noviembre del 2015

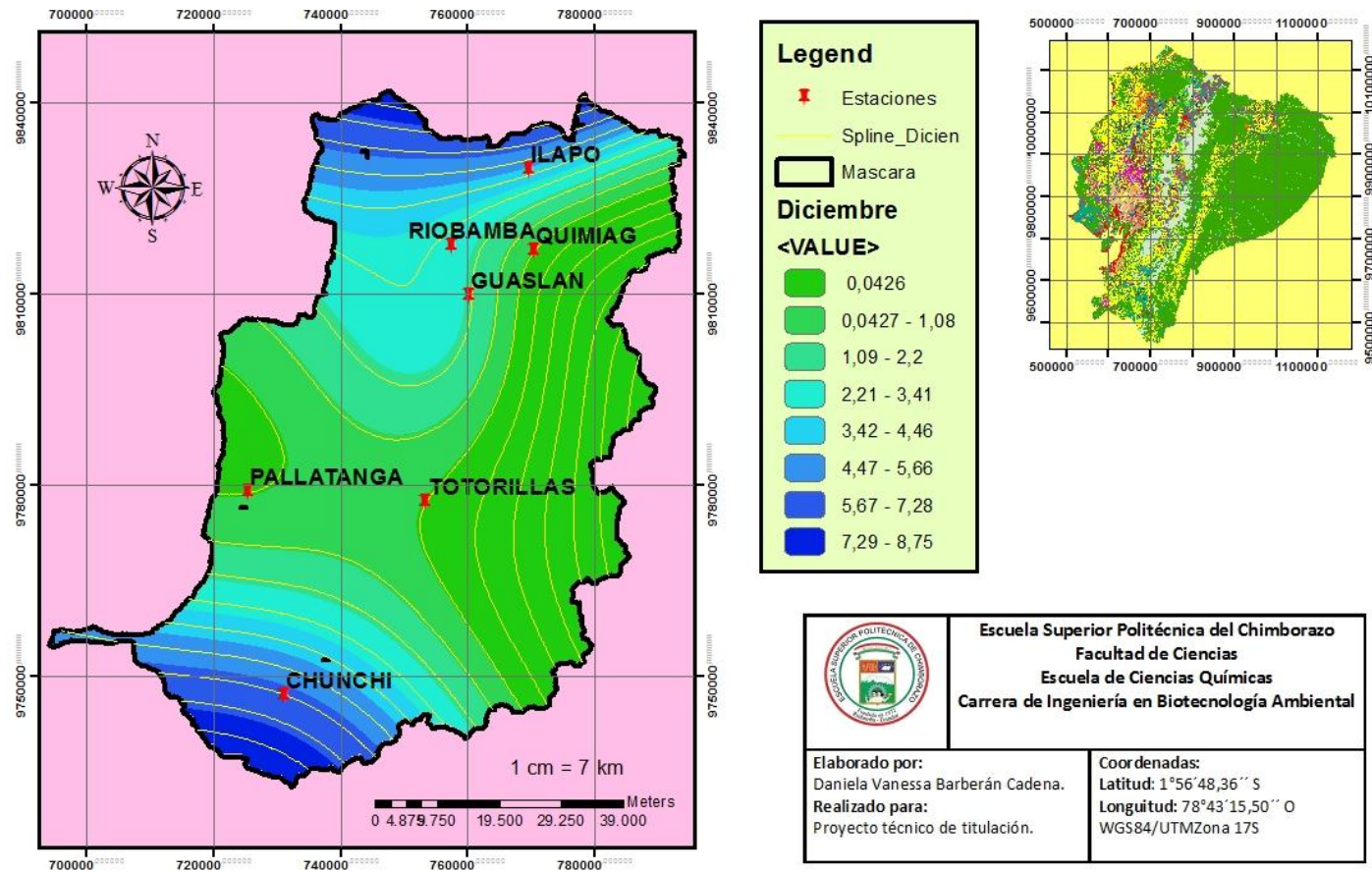
**Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Noviembre del año 2015.**



**Autor:** BARBERÁN, Daniela.

Anexo 12 A: Mapa de velocidad del viento del mes de Diciembre del 2015

Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie promedio mensual interpolada a una malla de 1 km, Diciembre del año 2015.



Autor: BARBERÁN, Daniela.