

16-

**FECHA** miércoles, 19 de junio de 2019

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
BIBLIOTECA  
Facatativá

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Extensión Facatativá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
GALINDO GONZALEZ	MATHYW SEBASTIAN	1022422271
BRYAN LEONARDO	RAMIREZ ESCOBAR	1136885858

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
DE LUQUE VILLA	MIGUEL ANTONIO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL COMPONENTE ATMOSFERICO POR EL USO DE VÍAS SIN PAVIMENTAR EN PROYECTOS DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS: ESTUDIO DE CASO ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA LLANOS 66.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
29/05/2019	64

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. AREA DE INFLUENCIA	AREA OF INFLUENCE
2. MATERIAL PARTICULADO	PARTICULATE MATERIAL
3. VIAS SIN PAVIMENTAR	UNPAVED ROADS
4. RESUSPENSION DE MATERIAL	RESUSPENSION OF MATERIAL
5. MODELOS DE DIPERSION	DIPERSION MODELS

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español)

Calle 14 Avenida 15 Facatativá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8920707 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

## RESUMEN

Se investigó una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar en proyectos de fase exploratoria de hidrocarburos, inicialmente se realizó el levantamiento de la información del área de interés, para luego establecer los factores de emisión bajo los lineamientos del apéndice (AP-42) de la agencia de protección ambiental de los estados unidos o por sus siglas en inglés (USEPA), que por medio del software Calpuff, basado en la dispersión gaussiana, se modelaron con el fin de estimar las concentraciones en receptores específicos a partir de la entrada de emisiones de fuentes lineales, en conjunto con las condiciones meteorológicas y geográficas presentes en la zona de estudio, los cuales permitieron determinar el comportamiento de material particulado tipo PM10 en la atmosfera en el tramo vial asociado al estudio de caso: área de perforación exploratoria Llanos 66, el cual se localiza entre el municipio de Puerto López y San Carlos de Guaroa, en el departamento del Meta.

Los resultados que se obtuvieron de las modelaciones de Calpuff fueron postprocesados con la herramienta Calpost, la cual arrojó valores promedio anuales y diarios para PM10 en ug/m<sup>3</sup> para cada uno de los receptores discretos definidos previamente.

El comportamiento de las concentraciones de PM10, presento simetría en ambos costados de la vía, en el caso de concentraciones anuales, sin embargo, las concentraciones diarias adoptaron un comportamiento asimétrico.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó el área de influencia por el uso de vías sin pavimentar para el área de perforación exploratoria LLA-66, arrojando un buffer de 110 metros a lado y lado de la vía para el promedio diario de PM10 y 54 metros para el promedio anual de PM10.

Se espera que esta investigación pueda ser utilizada para el proceso de licenciamiento ambiental de proyectos en fase exploratoria de hidrocarburos, que involucren el componente atmosférico afectado por el uso de vías sin pavimentar.

## ABSTRACT

A methodology was studied to calculate the area of influence of the atmospheric component by the use of unpaved roads in hydrocarbon exploratory phase projects. Initially, the information of the area of interest was surveyed, in order to later establish the emission factors under the appendix guidelines (AP-42) of the environmental protection agency of the United States or by its acronym in English (USEPA), which using Calpuff software, based on Gaussian dispersion, were modeled in order to estimate concentrations in specific receivers from the input of emissions from linear sources, together with the meteorological and geographical conditions present in the study area, which allowed to determine the behavior of particulate material type PM10 in the atmosphere in the road section associated with the study of case: Llanos 66 exploratory drilling area, which is located between the municipality of Puerto López and San Carlos de Guaroa, in the department of Meta.

The results obtained from the Calpuff modeling were postprocessed with the Calpost tool, which showed average annual and daily values for PM10 in ug / m<sup>3</sup> for each of the previously defined discrete receivers.

The behavior of the concentrations of PM10, showed symmetry on both sides of the road, in the case of annual concentrations, however, the daily concentrations adopted an asymmetric behavior.



Taking into account the above, the area of influence was determined by the use of unpaved roads for the exploratory drilling area LLA-66, yielding a buffer of 110 meters on both sides of the road for the daily average of PM10 and 54 meters for the annual average of PM10. It is hoped that this research can be used for the process of environmental licensing of hydrocarbon exploratory projects that involve the atmospheric component affected by the use of unpaved roads.

### AUTORIZACION DE PUBLICACION

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:  
 Marque con una "X":

AUTORIZO(AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	

2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI  NO

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no

contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

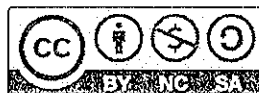
e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

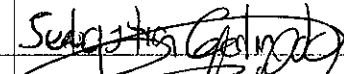
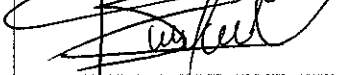
Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).



Nombre completo del Archivo incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (Ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Determinación del área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos estudio de caso área de perforación exploratoria Llanos 66.pdf	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
GALINDO GONZALEZ MATHYW SEBASTIAN	
RAMIREZ ESCOBAR BRYAN LEONARDO	

21.1-40



**Determinación del área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin  
pavimentar en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos: estudio de caso**

**área de perforación exploratoria Llanos 66**

**Galindo González Mathyw Sebastián**

**Ramírez Escobar Bryan Leonardo**

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, pregrado en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2019

**Determinación del área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin  
pavimentar en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos: estudio de caso**

**área de perforación exploratoria Llanos 66**

**Galindo González Mathyw Sebastián**

**Ramírez Escobar Bryan Leonardo**

Trabajo final presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero Ambiental**

Director:

Ing. Miguel Antonio De Luque Villa

Docente de Ingeniería Ambiental Extensión Facatativá

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, programa en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2019

Al ser supremo, porque él es quien ha permitido que a lo largo de nuestra existencia todo sea posible y a pesar de las adversidades, todo salga a flote.

A mi mami, quien me lleno de amor, valores, enseñanzas y me sigue iluminando a diario. Sé que debe estar llena de orgullo donde quiera que se encuentre.

A mi padre, por ser el mejor ejemplo de vida, por todo el amor, apoyo, esfuerzo y sacrificio que ha hecho a lo largo de su vida por sacar nuestra familia adelante.

A todas aquellas personas que siempre han estado apoyándome de una u otra forma, han hecho que emerja lo mejor de mí, han contribuido en la construcción del ser que soy y me han apoyado en todo lo que me he propuesto.

*Mathyw Sebastián Galindo González.*

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por permitirnos continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años de formación.

A mi abuela, quien me ilumina a diario, por inculcarme valores, deseos de superación y por su apoyo incondicional.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

*Bryan Leonardo Ramírez Escobar.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al docente Miguel Antonio De Luque Villa, por su paciencia, guía y apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de la investigación, por compartir su conocimiento y permitir que este trabajo sea posible.

A nuestro esfuerzo, paciencia, dedicación y esmero en la elaboración de la investigación.

A la misma investigación, la cual permitió el nacimiento de nuevos lazos de amistad.

## TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen.....	1
2	Introducción .....	3
3	Descripción de la problemática.....	6
4	Justificación .....	9
5	Objetivos.....	11
5.1	Objetivo general .....	11
5.2	Objetivos específicos.....	11
6	Descripción del área de estudio .....	12
6.1.1	Datos meteorológicos en la zona de estudio .....	15
7	Marco conceptual.....	19
8	Marco teórico .....	27
9	Marco legal .....	35
10	Metodología .....	39
11	Resultados.....	44
11.1	Factor de emisión .....	44
11.2	Receptores discretos.....	47
11.3	Dispersión de la Concentración de PM10 anual .....	48
11.4	Dispersión de la Concentración de PM10 diario.....	49
11.5	Resultados de modelación de receptores discretos promedios anuales y diarios.....	49
11.6	Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar. (Ver Anexo 1).....	52
12	Análisis .....	53
12.1	Estimación de factor de emisión .....	53
12.2	Concentración de material particulado PM10 en el tramo vial asociado al bloque exploratorio llanos 66.....	54
12.3	Modelación de receptores discretos promedios anuales y diarios.....	54
12.4	Incertidumbre del modelo CALMET.....	54
12.5	Error Relativo del modelo.....	56
12.6	Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar. ....	56
13	Conclusiones.....	58

14	Recomendaciones .....	60
15	Referencias.....	61
16	Anexos .....	65
16.1	Anexo 1.....	65

## Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del departamento del Meta en Colombia. ....	12
Figura 2. Delimitación del departamento del Meta. ....	13
Figura 3. Ubicación del tramo vial en estudio en el municipio San Carlos de Guaroa. ....	14
Figura 4. Tramo vial en la zona de estudio. ....	15
Figura 5. Rosas de los Vientos.....	16
Figura 6. Perfil horario de velocidad del viento. ....	17
Figura 7. Perfil horario de temperaturas. ....	17
Figura 8. Perfil horario de temperatura. ....	18
Figura 9. El impacto ambiental se mide como la alteración de evolución del factor alterado “con” y “sin” la acción causante. ....	20
Figura 10. Distribución porcentual de vehículos para el tramo vial asociado al bloque LLA-66.46	
Figura 11. Isopleta de concentración para periodo de exposición anual de material particulado (PM10). ....	48
Figura 12. Isopleta de concentración para periodo de exposición diario de material particulado (PM10). ....	49
Figura 13. Perfil de concentración de PM10 promedio anual. ....	50
Figura 14. Perfil de concentración de PM10 promedio diario. ....	50
Figura 15. Área de influencia del componente atmosférico en el bloque LLA-66.....	52

## Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad en torno al recurso atmosférico pertinente en el proyecto.....	35
Tabla 2. Valores de las Constantes Empíricas .....	41
Tabla 3. Factores de Conversión.....	42
Tabla 4. Dimensión del tramo vial.....	43
Tabla 5. Factor de Emisión para el Tramo Vial del Meta.....	44
Tabla 6. Factores de Emisión Ajustado .....	45
Tabla 7. Cantidades de Vehículos para el departamento del Meta .....	45
Tabla 8. Cálculo de emisión horaria para el tramo vial. ....	46



## 1 Resumen

Se investigó una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar en proyectos de fase exploratoria de hidrocarburos, inicialmente se realizó el levantamiento de la información del área de interés, para luego establecer los factores de emisión bajo los lineamientos del apéndice (AP-42) de la agencia de protección ambiental de los estados unidos o por sus siglas en inglés (USEPA), que por medio del software Calpuff, basado en la dispersión gaussiana, se modelaron con el fin de estimar las concentraciones en receptores específicos a partir de la entrada de emisiones de fuentes lineales, en conjunto con las condiciones meteorológicas y geográficas presentes en la zona de estudio, los cuales permitieron determinar el comportamiento de material particulado tipo PM10 en la atmosfera en el tramo vial asociado al estudio de caso: área de perforación exploratoria Llanos 66, el cual se localiza entre el municipio de Puerto López y San Carlos de Guaroa, en el departamento del Meta.

Los resultados que se obtuvieron de las modelaciones de Calpuff fueron postprocesados con la herramienta Calpost, la cual arrojó valores promedio anuales y diarios para PM10 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para cada uno de los receptores discretos definidos previamente.

El comportamiento de las concentraciones de PM10, presento simetría en ambos costados de la vía, en el caso de concentraciones anuales, sin embargo, las concentraciones diarias adoptaron un comportamiento asimétrico.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó el área de influencia por el uso de vías sin pavimentar para el área de perforación exploratoria LLA-66, arrojando un buffer de 110 metros a lado y lado de la vía para el promedio diario de PM10 y 54 metros para el promedio anual de PM10.

Se espera que esta investigación pueda ser utilizada para el proceso de licenciamiento ambiental de proyectos en fase exploratoria de hidrocarburos, que involucren el componente atmosférico afectado por el uso de vías sin pavimentar.

## 2 Introducción

Dentro de las bases conceptuales del plan nacional de desarrollo para el periodo 2018- 2022 “pacto por Colombia, pacto por la equidad”, presentadas por el presidente Iván Duque Márquez, en su capítulo IX. Denominado pacto por los recursos minero- energéticos para el crecimiento sostenible y la expansión de oportunidades, establece que el sector minero- energético será un motor de crecimiento económico en Colombia, al mismo tiempo que atrae inversión, genera regalías, impuestos y contraprestaciones económicas a favor de la nación, recursos necesarios para la reducción de la pobreza y el desarrollo territorial (DNP, 2018).

Con las estrategias del pacto IX el gobierno pretende asegurar el suministro de recursos a corto, mediano y largo plazo, ambiental y socialmente responsable, que contribuya a la competitividad y la calidad de vida, resiliente al cambio climático y que ayude a cumplir los compromisos internacionales del país; este pacto permitirá avanzar en el cumplimiento de los siguientes objetivos de desarrollo sostenible (ODS): ODS 7: energía asequible y no contaminante, ODS 8: trabajo decente y desarrollo económico, ODS 10: reducción de las desigualdades, ODS 12: producción y consumo responsable, ODS 13: acción por el clima, ODS 15: vida de ecosistemas terrestres, ODS 16 paz, justicia e instituciones sólidas, y ODS 17: alianza para lograr los objetivos (DNP, 2018).

Así mismo, en anteriores periodos de gobierno, caracterizan al sector minero energético como pilar fundamental de su plan de gobierno, esta tendencia seguirá en curso con variaciones mínimas en el gobierno del presidente Iván Duque. Debido a esto al planear estrategias de desarrollo energético se torna indispensable identificar en qué grado de incidencia se verá afectada la calidad del aire (Simioni, 2003).

Según lo anterior se expone que, gran número de procesos y/o actividades de la industria minero energética, tienen la capacidad de impactar de manera negativa en la calidad atmosférica y, por ende, la salud humana (Cardozo, Martínez & Saldarriaga., 2007); (Centro mexicano de derecho ambiental, 2011).

Es por ello que uno de los contaminantes más representativos asociados al uso de vías sin pavimentar en proyectos energéticos y que fue estudiado a lo largo del presente estudio, es el material particulado menor o igual a 10 micras, PM10, este puede ser resuspendido y/o emitido en vías sin pavimentar, generado por diversos procesos, ya sean erosivos y/o meteorológicos o por el tránsito vehicular, el cual causa arrastre de polvo por vórtices verticales (resultado de la compresión y expansión de masas de aire), producción de material por desgaste de frenos y neumáticos (aportando a procesos abrasivos), y arrastre superficial con saltación geológica, siendo esta última, aplicable para partículas mayores a 10 micrómetros (Pinto & Méndez, 2015).

Por otro lado, (Chakraborty et al., 2002) menciona que las organizaciones dedicadas a la minería que centran sus actividades en exploración a cielo abierto, afectan negativamente la atmósfera siendo el transporte de materiales sobre vías sin pavimentar la fuente que mayor contribución tiene en las emisiones de material particulado (PM). Dicha fuente es resultado de una combinación de varios factores; a) las emisiones de los exostos de los automotores, b) el deterioro de las llantas y la resuspensión de partículas en el aire causada por estas debido a su interacción constantemente con la superficie de la vía sin pavimentar, c) la erosión eólica. (Nicholson, Branson, Giess, & Cannell, 1989).

Colombia, no siendo ajena a la problemática, enfrente en el 2009 un costo asociado a la mala calidad del aire de 5,7 billones de pesos, según el estudio más reciente del Banco Mundial (Pachón, 2013).

En ese sentido, los operadores de proyectos reducen la complejidad de los impactos ambientales a la hora de invertir sus recursos en los componentes que serán contemplados en los planes de manejo ambiental (PMA), basados en la identificación, extensión y localización del Área de Influencia (AI). Paralelo a la evaluación del proyecto, en el mes de julio del año 2018, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) publicó la Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia. Cabe mencionar que antes de este documento en el país no existía ninguna directriz que estableciera los métodos para definir la amplitud del Área de Influencia por afectaciones atmosféricas. Sin embargo, la guía presenta falencias, ya que no expone una metodología clara que permita cuantificar la distancia de los impactos ambientales por el uso de vías sin pavimentar para el componente atmosférico; Toda vez que menciona que el modelamiento de dispersión de las emisiones generadas por las fuentes asociadas al proyecto en sus diferentes fases se deberá determinar a partir de isopletas (isolinea de concentración) de emisiones de las fuentes de interés, tomando como referencia la Isopleta de las concentraciones anuales modeladas. La presente investigación tiene por objeto la determinación de una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar en proyectos de exploración de hidrocarburos.

### 3 Descripción de la problemática

En Colombia hasta el año 2018, la autoridad nacional de licencias ambientales –ANLA publico la guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia. Para ser usado en el proceso de elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental en proyectos de exploración de hidrocarburos, se identificó que este documento posee sesgos ya que allí no se precisa la metodología que se acoge para la determinación del área de influencia para el componente atmosférico , además establece que dicho componente no es determinante para la delimitación del área de influencia, debido a que no se considera que las actividades que implican el desarrollo de proyectos afectan de manera significativa las condiciones actuales de los mismos; caso contrario plantean las autoridades ambientales de otros países como Estados Unidos en donde las regulaciones ambientales actuales exigen compensación por parte de las empresas que utilizan vehículos y tipos de carretera que causan daños al medio ambiente. Por ejemplo, las autoridades ambientales exigen aplicar contra-medidas de mitigación y adaptación a las empresas mineras dedicadas a las actividades de explotación minera a cielo abierto, donde los materiales de transporte por carreteras sin pavimentar son la principal fuente de emisión de material particulado (Chakraborty et al., 2002).

Por otro lado, las políticas actuales de gobierno precisan mantener el modelo extractivo de minerales del subsuelo, definidas dentro de las bases conceptuales del plan nacional de desarrollo para el periodo 2018- 2022 “pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, presentadas por el presidente Iván Duque Márquez, en su capítulo IX. Muy similar a lo establecido en el plan de desarrollo “Prosperidad Para Todos” 2014-2018. En donde el sector minero-energético fue uno de los motores de desarrollo del país, a través de su aporte al crecimiento económico, al aparato productivo, al empleo rural y a la inversión privada. Para esto, Colombia tenía proyectado el

aprovechamiento al máximo de su potencial en recursos naturales, tanto renovables como no renovables, bajo los más altos estándares ambientales y sociales, en articulación con las demás políticas sectoriales, las autoridades territoriales y la sociedad civil. (DNP, 2015). Sin embargo, el gobierno nacional y las partes interesadas deberán desarrollar herramientas tecnológicas, científicas, educativas, entre otras que se ajusten a sus necesidades reales y que permitan la identificación y mitigación de los impactos ambientales generados por proyectos de índole minero-energético, para garantizar un desarrollo sostenible (Rayén Q., 2001).

Cabe resaltar que, en América Latina y el Caribe por lo menos 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para PM10 anual de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  y diario  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , además de otros contaminantes atmosféricos. Los grupos más vulnerables a los efectos nocivos de una mala calidad del aire incluyen a niños, adultos mayores, personas con previos problemas de salud y población de bajos estratos socioeconómicos. El aumento de las alteraciones a la salud se considera uno de los principales impactos ambientales, este se relaciona directamente a la emisión de material particulado, el cual se produce debido aumento del tráfico de automotores proyectado en la fase de perforación exploratoria de hidrocarburos (Clean Air Institute, 2012).

La mayoría de las vías sin pavimentar consisten en una calzada graduada y compactada por lo general creado a partir del material original. Las ruedas de rodadura de los vehículos imparten una fuerza a la superficie que pulveriza el material de la banca y expulsa las partículas tanto por la fuerza de corte, como por la estela turbulenta (USEPA, 2006).

Teniendo como referencia la actual problemática en torno a la contaminación del aire y todas las enfermedades asociadas a la salud humana y al ambiente. Esta investigación se centra en el desarrollo de una metodología que permita calcular el área de influencia del componente

atmosférico, afectado por el tránsito de vehículos en vías sin pavimentar de proyectos del sector hidrocarburo.



#### **4 Justificación**

En Colombia la participación del petróleo en el PIB aumentó hasta alcanzar 5% en 2010 y llegó a alcanzar su punto más bajo en 2007 (3%). Este desempeño ha estado acompañado de un aumento del petróleo en la participación del PIB del petróleo en el PIB minero con registro de 71% en 2010. (López, Montes, Garavito, & Mercedes, 2013); Sin embargo, se deben contemplar los diferentes impactos ambientales generados por esta actividad industrial que afecta la calidad de los recursos naturales y en última instancia la calidad de vida de las personas.

Diversas investigaciones y el desarrollo de proyectos a nivel global dan soporte de la viabilidad al llevar a cabo procesos minero energéticos conservando el ambiente, además demuestran que las buenas prácticas ambientales dan pie al cumplimiento del objetivo principal del desarrollo sostenible el cual se centra en satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer los recursos naturales para el aprovisionamiento y desarrollo de las generaciones futuras (Gómez, 2014).

Respondiendo a lo anterior es necesario definir el área de influencia utilizando parcialmente la guía de la ANLA, para determinar la dispersión específica de material particulado PM10, generado por el tránsito de vehículos en vías sin pavimentar donde se desarrollan actividades de exploración de hidrocarburos, para lo cual es preciso establecer medidas de manejo ambiental.

Por otro lado, en Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica se encuentra en auge, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia,

durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1% del PIB de 2009 (\$5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias (IDEAM, 2014).

Al respecto, el Ministerio de Salud y Protección Social, ha venido contribuyendo con el fortalecimiento de la respuesta mundial a los efectos en salud asociados a la contaminación del aire en función del contexto nacional, en particular mediante la recopilación y uso de la información pertinentes que pueda dar cuenta de los resultados en salud atribuible a la calidad del aire (Dirección de Promoción y Prevención Subdirección de Salud Ambiental, 2018).

Finalmente Identificar el alcance de los impactos que inciden negativamente en la calidad del componente atmosférico provenientes de la movilización de vehículos sobre vías sin pavimentar es una labor de gran importancia para varios actores como lo son; organizaciones del sector minero energético, las autoridades ambientales, consultores, entre otros. Debido a esto es imprescindible determinar una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar para proyectos de exploración de hidrocarburos. Esta investigación pretende ser una herramienta para la industria minero-energética, además de ser útil en la identificación, evaluación, prevención y mitigación de las repercusiones adversas que generen las actividades del sector con respecto a la calidad del aire y por supuesto ser vital dentro de la comunidad científica y futuras investigaciones encaminadas a gestión ambiental de la calidad del aire, además de aportar al cumplimiento de las metas fijadas en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para el año 2030.

## **5 Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Determinar una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar para bloque de exploración de hidrocarburos.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Estimar los Factores de emisión de material particulado tipo PM10, del tramo vial asociado al área de perforación exploratoria LLA-66.
- Modelar la dispersión de la concentración de material particulado PM10, por el uso de vías sin pavimentar para el área de perforación exploratoria LLA-66.
- Estimar el área de influencia del componente atmosférico para el área de perforación exploratoria LLA-66.

## 6 Descripción del área de estudio

El área de perforación exploratoria LLA-66., se encuentra ubicado en Puerto López y en cercanías del municipio de San Carlos de Guaroa en el departamento del Meta, la zona tiene una altura que oscila entre los 250 y 350 metros sobre el nivel del mar.

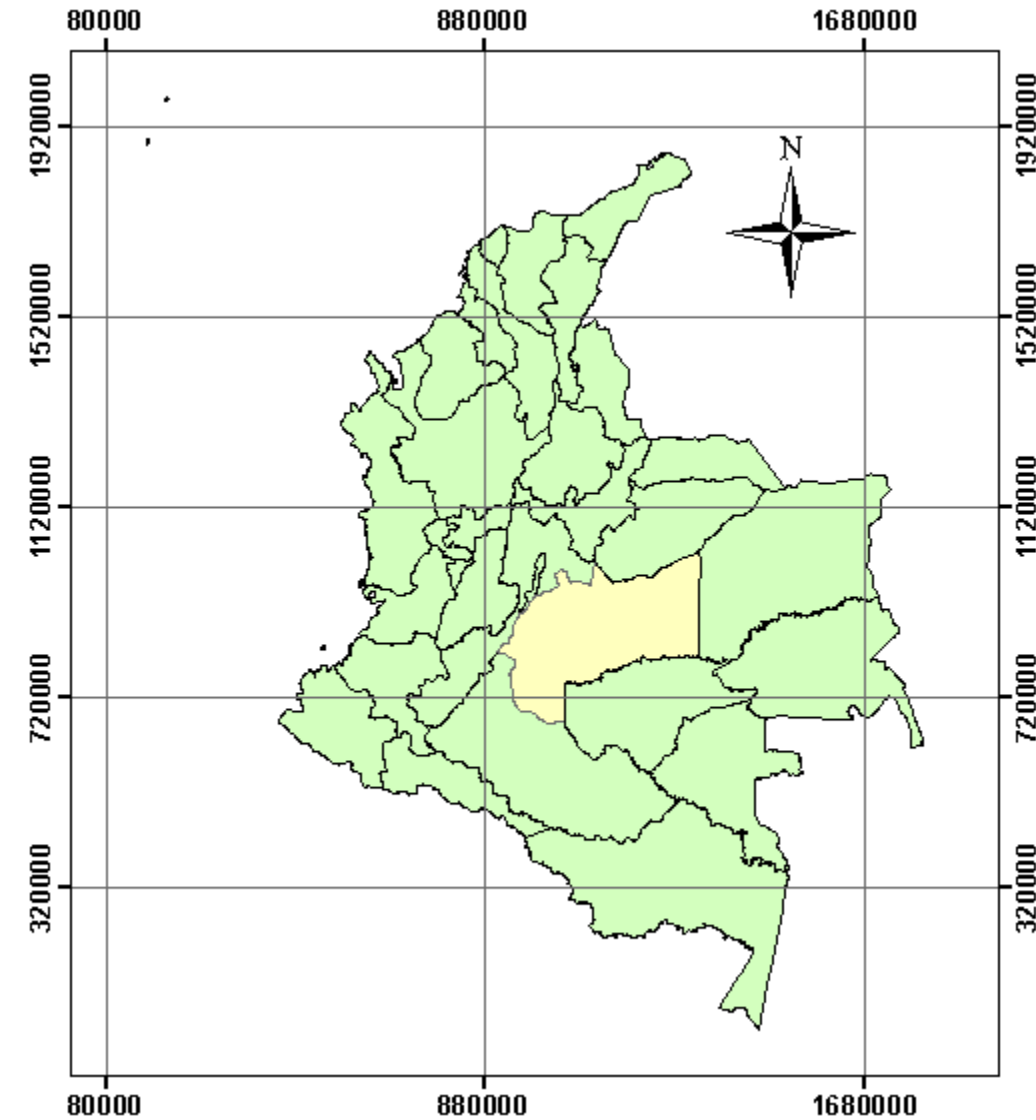


Figura 1. Ubicación del departamento del Meta en Colombia.

Fuente: Autores, 2019.

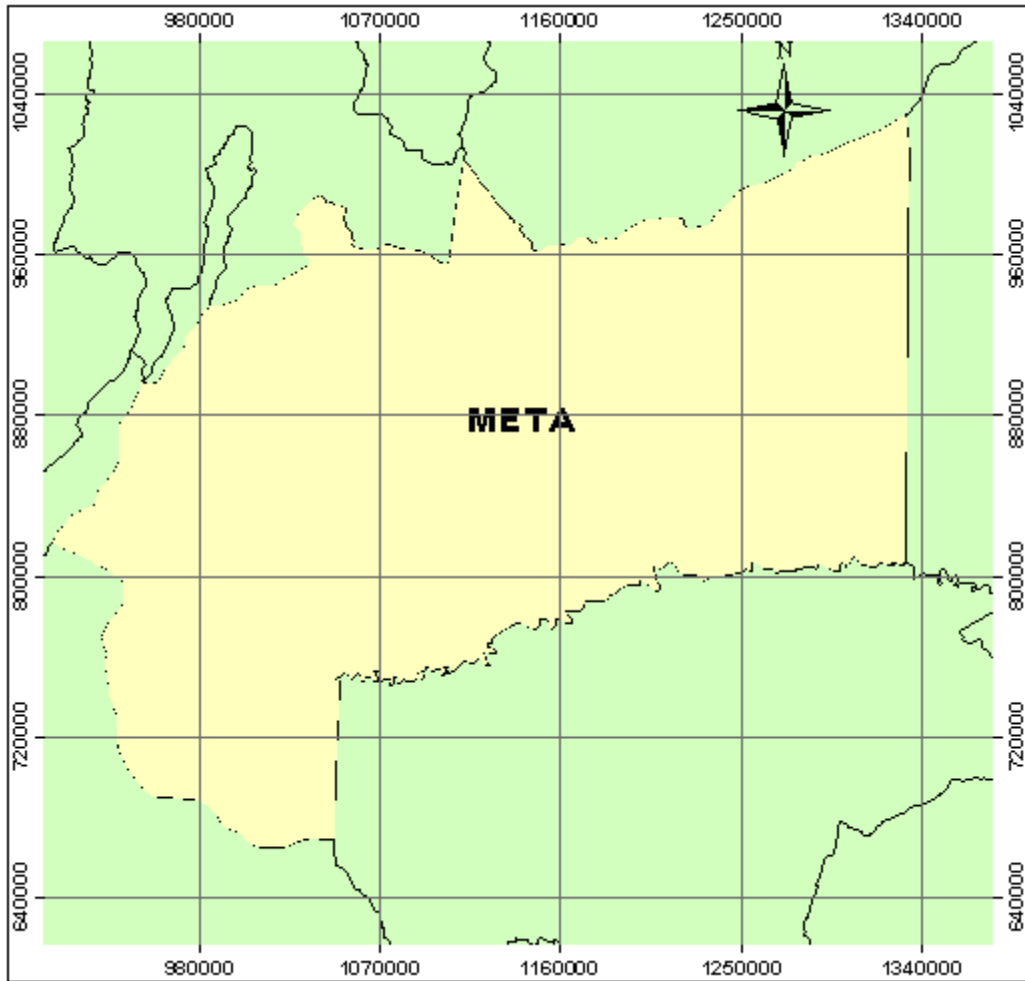


Figura 2. Delimitación del departamento del Meta.

Fuente: Autores, 2019.

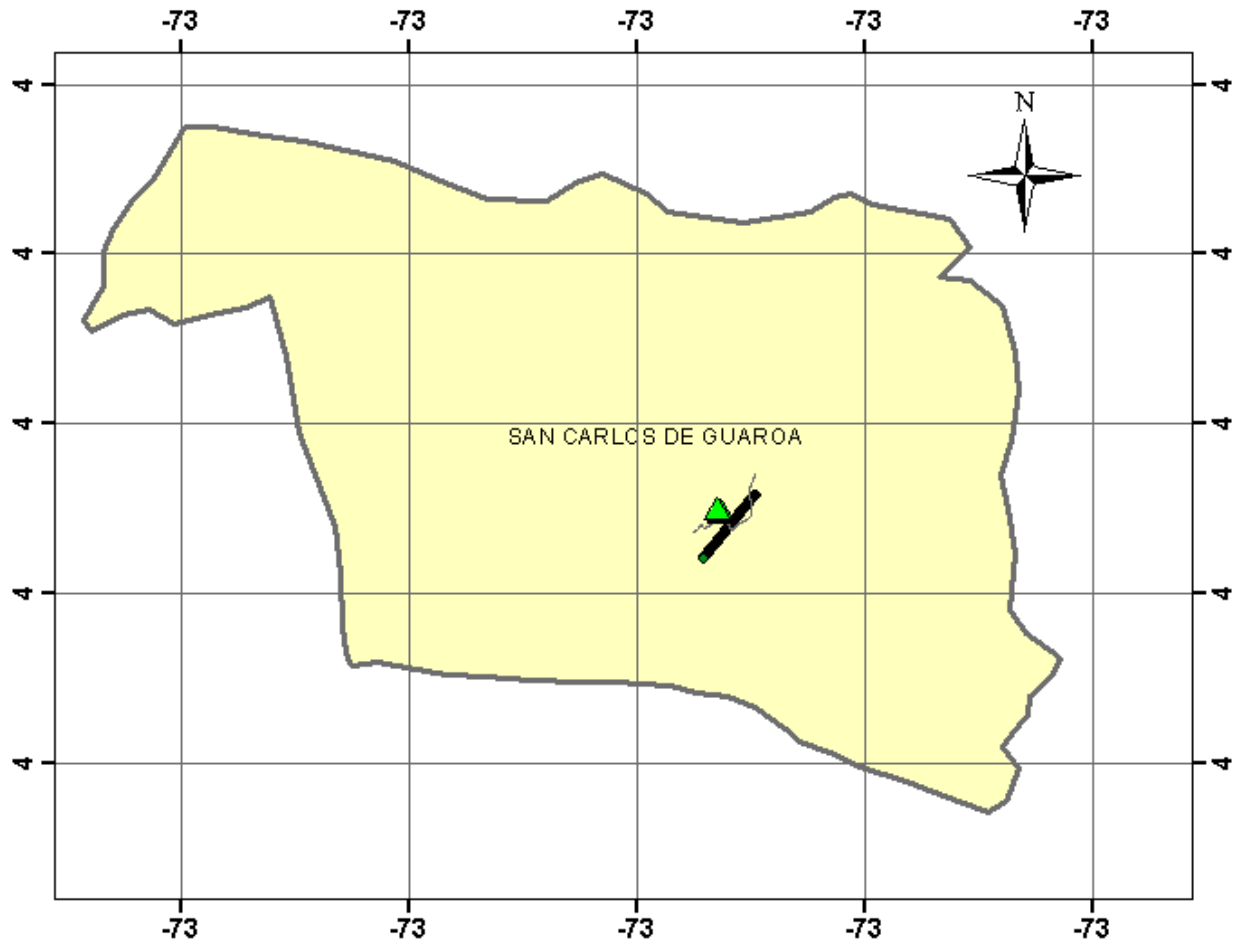


Figura 3. Ubicación del tramo vial en estudio en el municipio San Carlos de Guaroa.

Fuente: Autores, 2019.

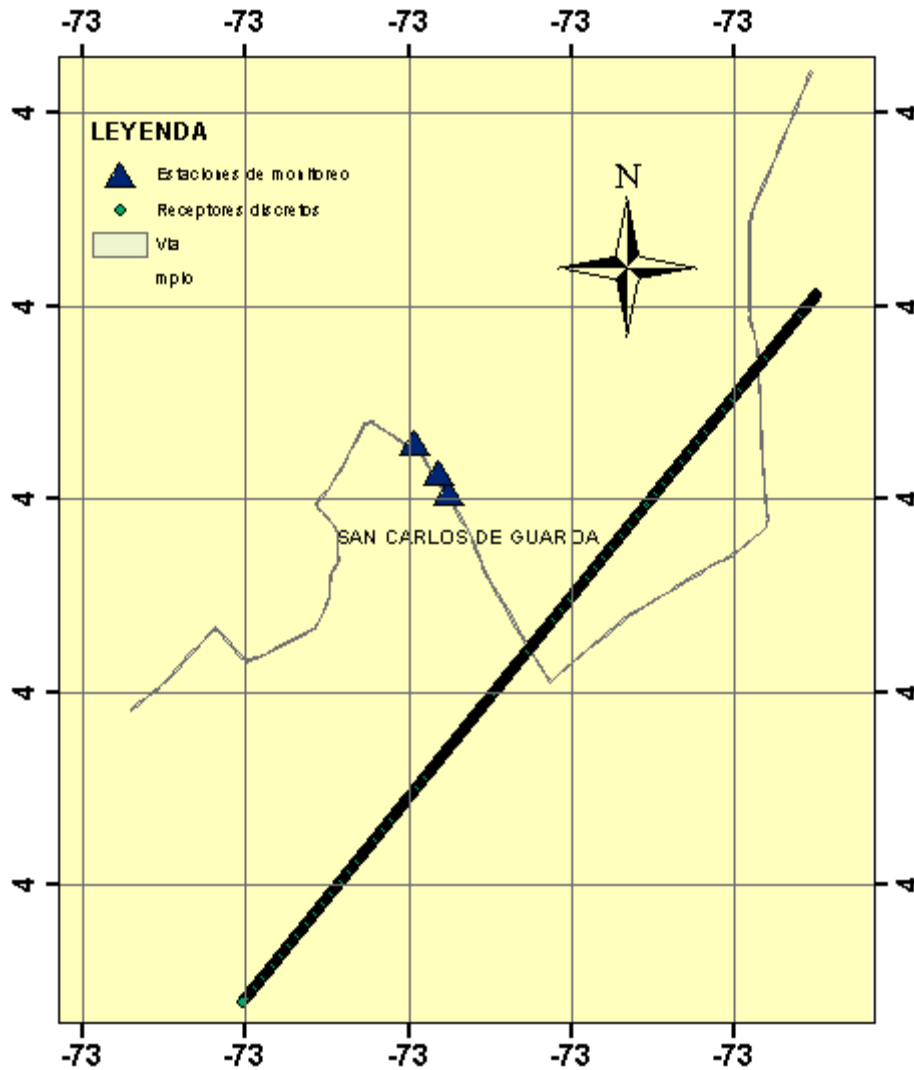


Figura 4. Tramo vial en la zona de estudio.

Fuente: Autores, 2019.

### 6.1.1 Datos meteorológicos en la zona de estudio

#### 6.1.1.1 Dirección y velocidad del viento

En la figura 5, se presenta la rosa de los vientos para el periodo del 1 de enero al 31 de diciembre del 2018. Se aprecia un componente mayoritario proveniente de la dirección noreste (NE), con un porcentaje de registros del 29%. Se reportó el valor máximo modelado de velocidad de 11,8 m/s correspondientes al día 6 del mes de marzo. En este periodo de modelación se observó un promedio de velocidad de 2,94 m/s, valor promedio afectado por resultados extremos obtenidos en la

modelación correspondientes a datos de los diferentes meses del año que presentaron valores de velocidad iguales a 0 m/s. Los periodos de calma modelados representan el 1,78% del total de los registros.

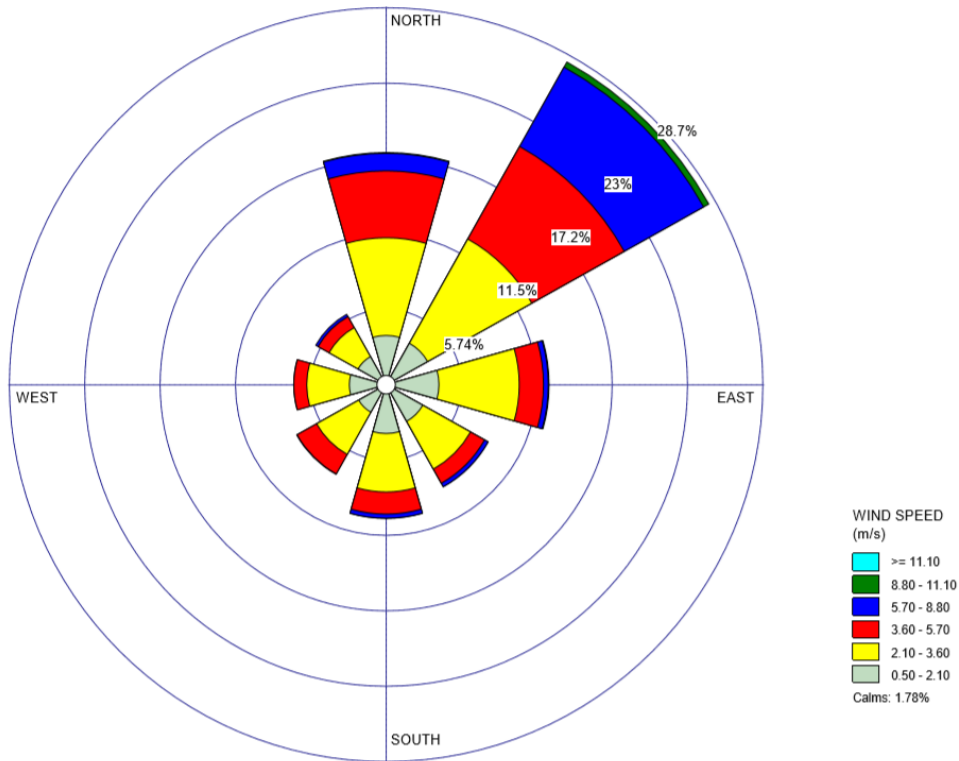


Figura 5. Rosas de los Vientos.

Fuente: Autores, 2019.

La tendencia horaria de la velocidad de vientos presenta valores mínimos entre las 19 hr y 5 hr del día siguiente con reportes por debajo de los 2,5 m/s, así como velocidades altas entre las 10 y 14 horas del día, con velocidades de hasta 4,03m/s. intervalo en el cual el arrastre de contaminantes es más eficiente ya que se tiene en cuenta que a mayor velocidad del viento, mayor va a ser la dispersión.



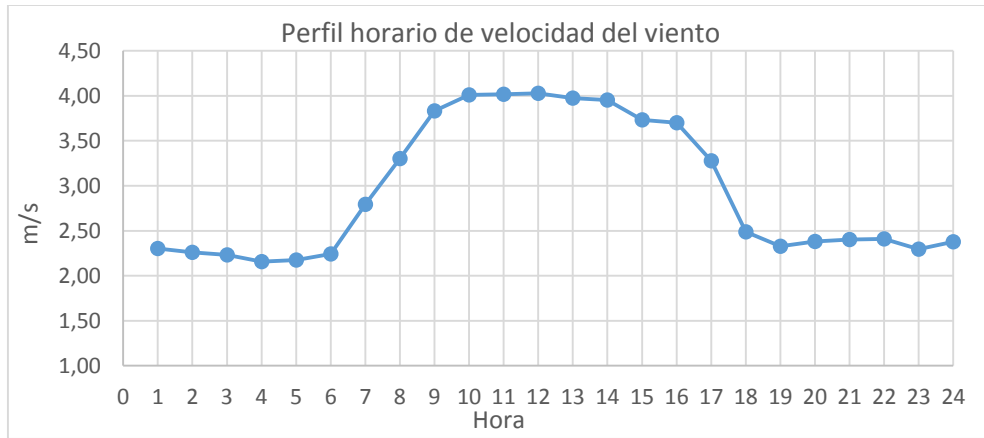


Figura 6. Perfil horario de velocidad del viento.

Fuente: Autores, 2019.

### 6.1.1.2 Temperatura

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el comportamiento de la temperatura promedio mensual obtenido en la modelación para el año 2018, se observa que la temperatura más alta se alcanza el mes de febrero con un valor aproximado de 29,25°C y un promedio mínimo mensual de 23,96°C calculado para el mes de junio. Para la zona se presenta un promedio de temperatura mensual de 26,19°C con una variación aproximada de  $\pm 1,55^\circ\text{C}$ .

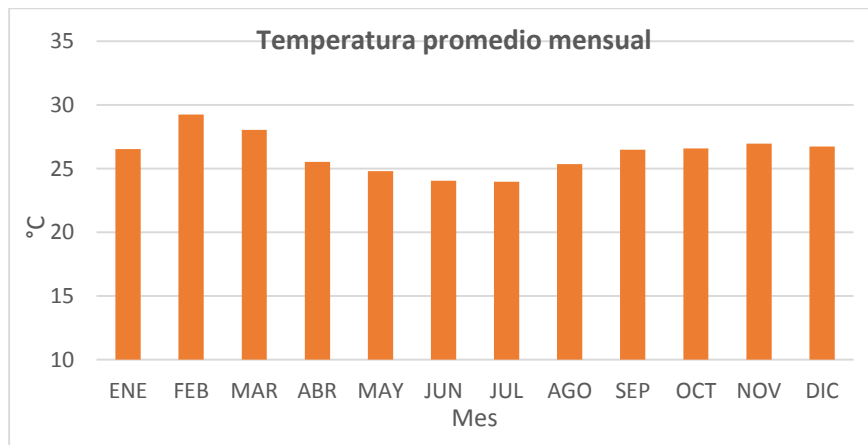


Figura 7. Perfil horario de temperaturas.

Fuente: Autores 2019.

El perfil de temperatura horario presenta picos alcanzados entre las 13 hr y las 15 hr (de 1:00pm a 3:00 pm) con temperaturas de hasta 29,13 °C, como se observa en la siguiente figura. De la misma

forma se presentan los valores mínimos de temperatura de 5:00am a 6:00am con registros de 22,14 °C.

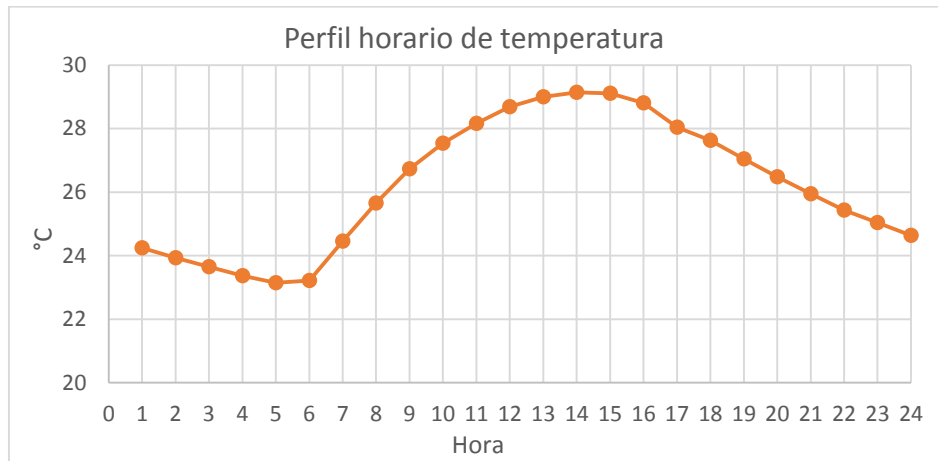


Figura 8. Perfil horario de temperatura.

Fuente: Autores, 2019.

## 7 Marco conceptual

A través del tiempo se han abordado diferentes conceptos sobre la calidad del aire y sus posibles impactos en los ecosistemas y la salud humana, a continuación, se definen algunos de estos conceptos desde la perspectiva de diferentes autores.

Inicialmente es necesario comprender el concepto de Impacto Ambiental, el cual ha sido definido como la implicación de los efectos adversos sobre los ecosistemas, el clima y la sociedad debido a las actividades, como la extracción desmesurada de recursos naturales, la disposición inapropiada de residuos, la emisión de contaminantes atmosféricos, el cambio de uso del suelo, entre otros (Perevochtchikova, 2011).

Desde el punto de vista de Perevochtchikova, el impacto ambiental difiere de los demás autores. Ella solo menciona los efectos adversos, pero en ningún momento menciona que las actividades antrópicas pueden tener impactos positivos en el medio natural.

Por otra parte, (Conesa, 1993) se refiere al impacto ambiental como “la alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en un componente del medio, fruto de una actividad o acción” (p, 6).

De manera análoga se expone que el impacto ambiental comprende las alteraciones positivas o negativas, que determinada actividad produce (directa o indirectamente) en la zona del sistema natural que se relaciona con ella. Como se evidencia en la figura 9, el impacto de una actividad sobre un factor se evalúa como el cambio entre el estado ambiental que tiene el factor después de ser alterado por la actividad y el estado ambiental que tendría el mismo factor sin haber sufrido alteraciones (sin actividad) (Encinas & Gómez de Baluguera, 2011).

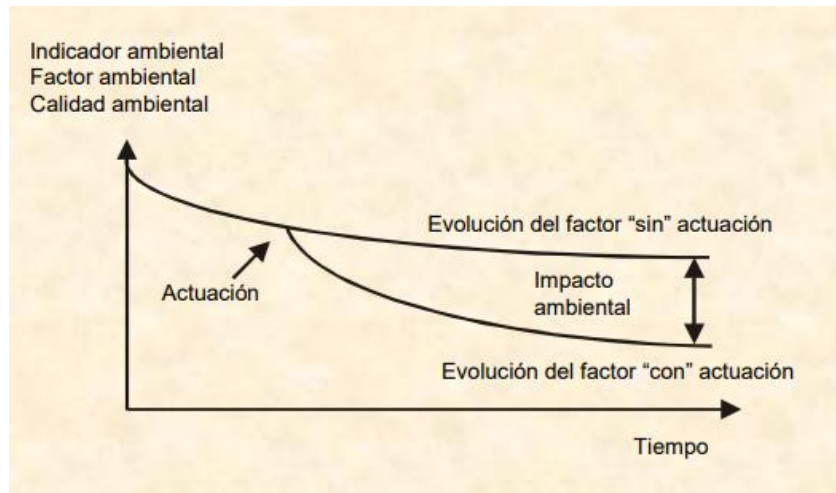


Figura 9. El impacto ambiental se mide como la alteración de evolución del factor alterado “con” y “sin” la acción causante.

Fuente: Encinas y Gómez de Baluguera, 2011.

Teniendo en cuenta lo anterior, el impacto ambiental es aquella alteración positiva o negativa que desencadenan diversas actividades antrópicas o fenómenos naturales. Dichos impactos tienen repercusiones en determinada(s) zona(s) del entorno natural, es por esto que en la presente investigación se trae a colación el término “Área de influencia”. De esta manera se exponen sus generalidades con el fin de exponer la relación entre el impacto ambiental y el área en el que este repercute.

Otro de los conceptos involucrados en la investigación es el Área de influencia definida como la zona en la cual se muestran de forma potencial los impactos de determinada actividad, fenómeno o proyecto sobre el entorno natural o sobre alguno de sus componentes, sociales o económicos (Ministerio de Planificación Federal, 2009).

Del mismo modo, el Área de Influencia de un proyecto es aquella región espacial en la cual se desarrollan y evidencian las alteraciones ambientales que generarán las labores del proyecto; en esta área se determina la magnitud e intensidad de los diversos impactos con el fin de concretar las

medidas de prevención o mitigación por medio de un Plan de Manejo Ambiental (PMA), (Alemán, 2016).

Así mismo la ANLA, define como área de influencia a la zona en la cual se manifiestan los impactos ambientales relevantes generados por el desarrollo de proyectos, obras o actividades, sobre los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos. Dichos impactos deberán ser en lo posible cuantificables y su identificación se debe realizar objetivamente, conforme a las metodologías disponibles (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2018).

Por ende, identificar la localización y expansión de esta zona es de vital importancia en el momento de definir las medidas de manejo ambiental de un proyecto, debido a que permite a los artífices del mismo reconocer y priorizar las zonas en las que se debe invertir los recursos de acuerdo a las manifestaciones de las alteraciones ambientales relevantes que se puedan producir gracias a la ejecución del proyecto (De Luque, 2016).

Teniendo en cuenta lo descrito, se entiende que todos los autores confluyen en que el área de influencia es la zona en la cual pueden implicar y evidenciarse los impactos generados por la ejecución de un proyecto o actividad antrópica o fenómeno natural. De acuerdo a esto, el proyecto investigativo busca determinar una metodología para calcular el área de influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar para proyectos de exploración de hidrocarburos, por ende, a continuación, se exponen diversas definiciones sobre la contaminación atmosférica y calidad del aire. Cabe resaltar que la contaminación atmosférica es un impacto ambiental y por ende tiene implicaciones en determinadas zonas (área de influencia).

En función a lo anterior, se aborda el término de Contaminación Atmosférica asociado a la calidad del aire que se determina en torno a su composición, a la existencia o inexistencia de diversos

elementos o sustancias y sus concentraciones los cuales son los factores más importantes, para definir la calidad del aire. Siendo así, la calidad del aire se expresa por medio de la concentración o intensidad de elementos y compuestos, la presencia de microorganismos, o la apariencia física (Álvarez et al., 2017).

Se puede evidenciar que la elevada concentración de determinado elemento o compuesto en el aire, puede catalogarse como contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica se entiende como la presencia de partículas o productos secundarios gaseosos diminutos en el aire, los cuales tienen la capacidad de generar riesgo, daño o molestia para los seres vivos y el entorno natural expuestos ha dicho fenómeno (IDEAM, 2014).

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) la contaminación atmosférica es el fenómeno en el cual se acumulan o existe una elevada concentración de contaminantes, los cuales pueden ser fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, que generan impactos negativos en el entorno natural y la salud humana. Los generadores pueden ser el resultado de actividades antrópicas como productos de reacción, solos o combinados, fuentes naturales o una mezcla de estos dos (Ministerio de Ambiente, 2019).

Análogamente (Martínez & Díaz, 2004) definen a la contaminación atmosférica como:

Presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas. (p, 17).

Otro termino asociado a la investigación es el material particulado, el cual lo definen (Wang et al., 2000) como uno de los principales contaminantes atmosféricos, este genera afectaciones a la salud humana, tiene la capacidad de instaurarse de forma profunda en los pulmones, además de promover la reacción de la superficie y las células de defensa. Gran cantidad de este contaminante se produce gracias a la quema de combustibles fósiles, sin embargo, es posible que varíe su composición dependiendo de su fuente.

Material Particulado, De acuerdo a lo establecido por el (Ministerio de Salud, 2018) el Material Particulado es:

Partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0.005 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico; sus fuentes principales son la quema incompleta del combustible para motores diésel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón, también se puede producir por la condensación de vapores ácidos y compuestos orgánicos semi-volátiles, mediante una serie de complejas reacciones del  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  en la atmósfera que finalmente forman sales de nitratos y sulfatos. Las partículas que más afectan la salud son aquellas con diámetro aerodinámico menor de 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y, más aún, aquéllas con diámetro aerodinámico menor de 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ). (p, 5).

El PM, se compone esencialmente de partículas de carbón no quemado, sulfatos, nitratos, amonio, cloro, y partículas de metales como hierro, mercurio y plomo, estas, cuando se irradian se mantienen flotando. De acuerdo a su dimensión se clasifican en:  $\text{PM}_{10}$ , (diámetro < 10 micras, y  $\text{PM}_{2.5}$ , partículas con diámetros < 2.5 micras). Diversas investigaciones han comprobado que éstas últimas pueden generar un gran impacto perjudicial en la salud humana, consecuencia de que se

pueden instaurar sin dificultad en las vías respiratorias y modificar el comportamiento alveolar, produciendo la aparición de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) (Ruiz, 2006).

Igualmente, (Yang et al., 2003) expone que el PM es una formación conjunta de partículas sólidas y líquidas que se emiten de manera directa al aire, dicha formación puede variar en sus componentes y tamaño (granulometría) (PM<sub>2,5</sub>-PM<sub>10</sub>) según sus fuentes de emisión.

Cabe mencionar que el PM se puede formar de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas, los cuales tienen la posibilidad de reaccionar entre sí dando origen a otros compuestos (Arciniegas, 2012).

Como se evidencia, el material particulado está compuesto por partículas de diversa composición, origen y tamaño. Estas pueden afectar la salud humana, de los animales y del ambiente. Una vez en el suelo, gracias a sus características, el material particulado es susceptible de ser resuspendido en el ambiente por diversos factores y fenómenos.

La resuspensión de material particulado, se define como el polvo fugitivo que corresponde al PM que es susceptible de elevarse del suelo a causa de acciones externas como el viento, fricción y erosión (Méndez, Pinto, Galvis, & Pachón, 2017).

Así mismo, (Pinto & Méndez, 2015) definen la resuspensión del PM como el polvo fugitivo, susceptible de ser elevado del suelo, especialmente se asocia al tráfico rodado. Entre las emisiones del tráfico se encuentran las partículas de combustión, desgaste de la superficie de la vía, residuos de desgaste de llantas, frenos y partículas resuspendidas.

De la misma forma, se expone que la resuspensión del PM es aquella acción por la cual es reposado en determinada superficie e ingresa de nuevo a la atmósfera, debido a acciones de una fuerza



mecánica o por acción del viento (State of Alaska Department of Environmental Conservation (Alaska DEC), 2011).

De este modo, se entiende que la resuspensión del material particulado es la reincorporación de este en la atmosfera, a causa de diversos factores. Este material resuspendido posee cierto comportamiento de dispersión, debido a esto, a continuación, se mencionan diferentes definiciones de “modelo de dispersión” los cuales ayudan a identificar el comportamiento de este contaminante.

Actualmente los modelos de dispersión atmosférica son instrumentos informáticos mediante los cuales se pueden alcanzar proyecciones de un contaminante en el entorno. En dichos instrumentos se incorporan los datos que se obtienen del muestreo que concierne y el modelo enseña los resultados requeridos. Teniendo en cuenta lo anterior, la precisión de la proyección se relaciona directamente con la manera en que se tomaron los datos y la adecuada incorporación de estos al modelo de dispersión (Manzur, Benzal, & González, 2012).

Para realizar estimaciones, los modelos se fundamentan de gran cantidad de fórmulas matemáticas, en base a fundamentos teóricos en torno al comportamiento de los contaminantes, y su relación con el ambiente (Consortio Metro de Bogotá, 2017).

Los modelos de dispersión facilitan reconocer y/o predecir el comportamiento de gases y partículas que genera cualquier fuente de polución, estas sean fijas, de área, volumen, puntual, entre otras. El mecanismo de funcionamiento se basa en una sucesión de datos meteorológicos, las cuales se caracterizan por contar entre otras con las primordiales fuentes de emisión, tipos de suelos, zonas de cultivo, topografía (Torres, 2008).

Uno de los modelos que permite la modelación de concentraciones de varios contaminantes en la atmosfera es Calpuff, (Exponent, 2018) lo define como:

un avanzado sistema de modelado meteorológico y de calidad del aire no estacionario desarrollado por científicos en Exponent, Inc. Es mantenido por los desarrolladores del modelo y distribuido por Exponent. El modelo ha sido incluido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) como un modelo alternativo para evaluar el transporte a larga distancia de contaminantes y sus impactos en las áreas de Clase I Federal y para ciertas aplicaciones de campo cercano que involucran condiciones meteorológicas complejas cuando se produce la selección y el uso. De acuerdo con la autoridad de revisión apropiada y la aprobación de la Oficina Regional de la EPA. (p, 1)

Finalmente, (Scire et al., 2000) se refieren al modelo de dispersión Calpuff como un modelo gaussiano, no estacionario, que posee algoritmos que permiten simular los efectos del terreno sobre el comportamiento y remoción de los contaminantes. El modelo posee singularidades que facilitan el tratamiento en el tiempo las fuentes puntuales y de área en la zona competente de modelado, a partir de decenas de metros hasta cientos de kilómetros con predicciones de concentraciones en el ambiente para lapsos que oscilan frecuentemente de una hora a un año.

## 8 Marco teórico

Cuando se habla de Colombia en razón de los recursos naturales, entre ellos, los hidrocarburos, han llevado a la tarea y a la necesidad, que de manera permanente el estado despliegue su función administrativa de regulación y control a través de la creación de marcos Institucionales y legales frente a la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de los mismos en el país (Prada, 2014). Los daños ambientales causados por la explotación de hidrocarburos, no son ocasionados solamente en el área de operación, estos se replican a través del agua y aire que afecta inmediatamente a la población que reside en lugares aledaños al proyecto. (Martinez, 2012)

Debido a esto es de gran importancia comprender que el entorno ambiental es susceptible de ser impactado desde diferentes medios. Es por esto que el área de influencia, la zona o ámbito espacial que puede ser afectada positiva o negativamente por el desarrollo de un proyecto, o se encuentra bajo procesos, acciones y/o actividades que afectan la dinámica normal o cotidiana del entorno donde se desarrollan, directa o indirectamente, dichos procesos (Narváez, Combatt, & Bustamante, 2014).

Por otro lado, la contaminación del aire es un problema ambiental que tiene una grave incidencia sobre todo el planeta. De manera que las sustancias contaminantes presentes en la atmosfera producen un efecto nocivo en seres viviente o en el ambiente. Generalmente los contaminantes se elevan o flotan alejándose de sus fuentes, sin acumularse; los patrones de vientos, lluvias y la temperatura pueden influir en la rapidez con que estos se alejen de la zona en donde son emitidos (Manzur, Benzal, & González, 2013). De igual manera los patrones que desplacen la contaminación por la tierra pueden dañar ambientes limpios distantes de las fuentes originales. Así la concentración local de los contaminantes del aire depende de la magnitud de las fuentes y de la

eficiencia de su dispersión. Las variaciones diarias en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes (OMS, 2005).

Si bien existe información meteorológica oficial, que se obtiene a través de las estaciones meteorológicas del IDEAM, los datos meteorológicos de estas estaciones son descartados para el modelo de dispersión, debido a que el mismo requiere datos meteorológicos con una resolución temporal horaria, y otras variables no medidas por dichas estaciones, para estos casos, se recomienda modelar la meteorología con software que permita predecir datos meteorológicos acertados en la zona de interés. Uno de dichos modelos es el WRF, el cual es un avanzado modelo meteorológico WRF (Skamarock et al 2005) es un modelo mesoescalar el cual pronostica y asimila datos, que se usan para la adecuada comprensión e investigación y también, en el pronóstico de las condiciones meteorológicas de mesoescala.

Dicho modelo se halla en constante desarrollo por un considerable número de centros e instituciones de los Estados Unidos de America; como son: NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division; the National Centers for Environment Prediction (NCEP), the Forecast Systems Laboratory (FSL), the National Severe Storms Laboratory (NSSL), and Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); the Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory (NRL), and High Performance Computing Modernization Office (HPCMO) within the U.S. Department of Defense (DoD); the Federal Aviation Administration (FAA); the University of Oklahoma Center for the Analysis and Predictions of Storms (CAPS); the Environmental Protection Agency Atmospheric Modeling Division; the Atmospheric Sciences Division at the NASA Goddard Space Flight Center; y la comunidad universitaria de investigación. (Arango y Ruiz, s.f)

El modelo WRF (Skamarock et al 2005) se ha caracterizado, por ser uno de los modelos numéricos más utilizados mundialmente en las instalaciones de pronóstico sobre predicción del tiempo, además de ser muy usado en el sector investigativo Ruiz, 2008) en diferentes universidades.

A nivel nacional, el Centro de Investigaciones Oceánicas e Hidrográficas (CIOH), la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), el IDEAM, entre otras instituciones no gubernamentales poseen destrezas en cuanto a pronósticos de variables atmosféricas por medio de este modelo; a la vez que, las universidades han disminuido su uso al estudio de casos particulares (León et al, 2011). En el caso específico del IDEAM, respecto al modelo WRF, se ha puesto en funcionamiento desde el año 2007 con el objetivo de predecir el tiempo para Colombia y la ciudad de Bogotá (Ruiz, 2008) siendo un instrumento fundamental para los meteorólogos en el momento de tomar decisiones en la emisión de pronósticos oficiales.

Con respecto al material particulado en Colombia, se menciona que, este es uno de los contaminantes de mayor preocupación, dado el número de excedencias al año sobre la norma nacional, donde proviene principalmente de la resuspensión de material particulado en vías sin pavimentar (OMS, 2005).

Según la USEPA, (2019), Oyarzún (2010) y Arciniegas (2011) concuerdan que el material particulado está directamente relacionado con las afecciones respiratorias, ya que las enfermedades de tipo respiratorio se incrementan notablemente en la población expuesta de manera persistente a la presencia de este factor contaminante y que a largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, con el cáncer o con la muerte prematura.

Además de múltiples problemas a la salud, las cuales incluyen:

- Infartos de miocardio no mortales

- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar.
- La exposición a la contaminación por partículas tiende a afectar en su mayoría a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños y adultos mayores.
- Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar
- Síndrome bronquial obstructivo
- Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio

Por otro lado, el PM resuspendido asociado a vías sin pavimentar tiene básicamente dos mecanismos de generación: natural y artificial. El primero se debe a procesos erosivos y/o meteoros; mientras que el segundo es a causa del rodamiento vehicular, el cual a su vez, genera arrastre de polvo por vórtice vertical (resultado de la compresión y expansión de masas de aire), arrastre de polvo por agarre y deslizamiento de neumáticos (aportando a procesos abrasivos), y arrastre superficial con saltación geológica, siendo esta última, aplicable para partículas mayores a 10 micrómetros (Mendez Espinosa, Pinto Herrera, & Galvis Remolina, 2017).

Por esa razón el incremento de tráfico de vehículos, el transporte de crudo, de equipos pesados y demás maquinaria, que transitan por vías sin pavimentar representa una fuente sustancial que genera emisiones contaminantes del aire, por medio de la suspensión de partículas; generadas por la interacción entre ruedas con superficie y la erosión eólica (Huertas, Huertas, & Valencia, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace imprescindible la modelación de la calidad atmosférica la cual es utilizada para reproducir los procesos químicos y físicos que se generan en la capa gaseosa terrestre. Dichos modelos de dispersión de contaminantes son pieza clave para realizar evaluaciones de impacto ambiental de fuentes fijas a cerca de la calidad del componente atmosférico. Aunque, cabe resaltar que estos modelos necesitan información meteorológica de la zona de estudio. Sin embargo, algunos de los parámetros meteorológicos que los modelos requieren se pueden medir de manera directa, otros, por otra parte, se deben estimar teniendo en cuenta los datos medidos por estaciones meteorológicas. Por esta razón se debe realizar una serie de procedimientos a través de los cuales se puedan hallar los parámetros climatológicos que el modelo de dispersión requiera.(Zuluaga & Parra, 2010).

Según (Galindo García, 1999) los modelos que se utilizan en las investigaciones de contaminación atmosférica son de diferentes tipos. La problemática central por solucionar a través de estos modelos es especificar la concentración de una o más especies en el aire, además de su evolución en el tiempo y espacio en la capa límite de la atmósfera, debido a que es en ese lugar donde se halla concentrada la mayor parte de la contaminación que emiten las fuentes cercanas al medio edáfico.

(Galindo García, 1999) afirma que el modelar la calidad del aire es un ítem vital para muchos de los estudios de contaminación atmosférica y, aunque no precisamente soluciona el problema de la polución, puede contribuir a:

- El establecimiento de legislaciones de control de emisiones.
- La evaluación de propuestas de técnicas y estrategias de control de emisiones contaminantes.
- Seleccionar la localización de futuras fuentes contaminantes para minimizar sus impactos ambientales.

- Elaborar planes de contingencia ambiental.
- Deslindar responsabilidades de los posibles causantes de la contaminación y dictar las medidas de control correspondientes.

Por consiguiente (Ministerio de Economía y Competitividad, 2018), da a conocer una serie de modelos recomendados por la EPA con el fin de abordar diversos problemas con respecto a la calidad del aire los cuales se mencionan a continuación:

**AERMOD Modeling System:** Es un modelo en estado estacionario que incorpora la dispersión basada en la estructura y conceptos de escalado de la turbulencia en la capa límite planetaria, incluyendo el tratamiento de fuentes de área, de volumen y puntuales (chimeneas) y terrenos complejos y simples. Incorpora los algoritmos del modelo PRIME (Plume Rise Model Enhancements) para evaluar los efectos dinámicos de edificios en las inmediaciones de las fuentes.

**BLP (Bouyant Line and Point Source Model):** Modelo gaussiano para modelizar emisiones industriales en chimeneas donde la sobreelevación y el downwash son importantes. Diseñado especialmente para tratar problemas de dispersión de contaminantes emitidos por plantas de reducción del aluminio.

**CALINE-3:** Modelo Gaussiano de estado estacionario diseñado para estimar entre otros, la contaminación atmosférica debida a carreteras, autopistas, cruces, puentes, en un terreno poco complejo.

**CAL3QHC/CAL3QHCR:** CAL3QHC es un modelo para CO basado en el CALINE3 adecuado para calcular concentraciones en zonas de atascos y hot spots con un modelo de



tráfico para calcular retrasos y atascos que ocurren en cruces. CAL3QHCR es una versión más refinada de CAL3QHC que requiere datos meteorológicos locales.

CTDMPLUS: Modelo Gaussiano de dispersión en terreno complejo para focos puntuales aplicable a todo tipo de condiciones de estabilidad atmosférica.

OCD (Offshore and Coastal Dispersion Model): Modelo Gaussiano rectilíneo desarrollado para determinar el impacto de emisiones costeras y mar adentro debidas a fuentes puntuales, lineales o de área. Incorpora los efectos que se sufre al cruzar la línea de costa. Necesita datos meteorológicos horarios en emplazamientos mar adentro y tierra adentro. (p, 4).

CALPUFF es un avanzado sistema de modelado meteorológico y de calidad del aire no estacionario desarrollado por científicos Exponentes. Es mantenido por los desarrolladores del modelo y distribuido por Exponent. El modelo ha sido adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (USEPA) en su Guía sobre modelos de calidad del aire como el modelo preferido para evaluar el transporte de contaminantes a larga distancia y sus impactos en áreas federales de Clase I y caso por caso para ciertas aplicaciones de campo cercano que involucran condiciones meteorológicas complejas. El sistema de modelado consta de tres componentes principales y un conjunto de programas de pre procesamiento y pos procesamiento. Los principales componentes del sistema de modelado son CALMET (un modelo meteorológico de diagnóstico tridimensional), CALPUFF (un modelo de dispersión de la calidad del aire) y CALPOST (un paquete de pos procesamiento). Cada uno de estos programas tiene una interfaz gráfica de usuario (GUI).(USEPA, 2006).

Además de estos componentes, hay muchos otros procesadores que pueden usarse para preparar datos geofísicos (uso del suelo y terreno) en muchos formatos estándar, datos meteorológicos (superficie, aire superior, precipitación y datos de boya) e interfaces con otros modelos como el modelo de meso escala Penn State / NCAR (MM5), los modelos Eta / NAM y RUC de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP), el modelo de Investigación y Previsión del Clima (WRF) y el modelo RAMS.(USEPA, 2006).

Finalmente se destaca el Modelo CALPUFF el cual se utilizó en la presente investigación ya que fue el que más se ajustó a las condiciones que se pretendían monitorear, además de ser el que tuvo más concordancia con los objetivos de este estudio, cabe mencionar como se expuso anteriormente que cada modelo recomendado por la EPA es de gran utilidad bajo ciertas condiciones, características y parámetros.

## 9 Marco legal

En la tabla 1, se expone la legislación ambiental aplicable a la presente investigación:

*Tabla 1.*

*Normatividad en torno al recurso atmosférico pertinente en el proyecto*

<b>TIPO DE NORMA</b>	<b>ENTIDAD QUE LA EXPIDE</b>	<b>ARTÍCULOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Constitución Política de Colombia de 1991.	Asamblea Nacional Constituyente	8, 11,79, 80, 88, 95 y 333	La polución a causa del PM10 transgrede el derecho a la vida, a gozar de un ambiente sano. Debido a esto, es deber del Estado velar por el bienestar del entorno natural, asimismo responsabilizarse de la prevención y control de los factores que atentan contra el ambiente, implantar sanciones, además de requerir la restauración de las afectaciones causadas. Cada persona tiene el deber de preservar los recursos naturales de la nación.
Decreto 948 de 1995	Ministerio del Medio Ambiente		Reglamenta la Ley 23 de 1973, el Decreto Nacional 2811 de 1974, la Ley 9 de 1979 y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y el control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.
Decreto 1697 de 1997	Ministerio del Ambiente		Modifica el Decreto Nacional 948 de 1995 Reglamento de Protección y Control de la calidad del aire.
Decreto 979 de 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		Modifica parcialmente el Decreto Nacional 948 de 1995, por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire, en lo referente a las clases de normas de calidad del aire o de los distintos niveles periódicos de inmisión, niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire, medidas para la

			atención de episodios, Planes de Contingencia por contaminación atmosférica y clasificación de Áreas-fuente de contaminación.
Resolución 910 de 2008	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		Establece los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, reglamenta los requisitos y certificaciones a las que están sujetos los vehículos y demás fuentes móviles, sean importadas o de fabricación nacional, señalando las excepciones respectivas
Resolución 650 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		Adopta el protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire compuesto por dos manuales, uno sobre ¿Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire¿ y el otro sobre ¿Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire¿ tendientes a establecer las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo estas actividades en el territorio nacional.
Resolución 651 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		Crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE) que tiene como función servir de fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire y hará parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia, SIAC. Simultáneamente obliga su aplicación por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos y las demás referidas en el artículo 13 de la Ley 768 del 2002.
Resolución 2154 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		Modifica el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Resolución 935 de 2011	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM		Establece a nivel nacional diez métodos para la evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas y determina el número de pruebas o corridas para la ejecución de los métodos empleados para la evaluación de emisiones contaminantes en fuentes fijas.
Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015	Ministerio del Medio Ambiente Desarrollo Sostenible	2.2.2.3.1.1  2.2.5.1.1.1 al 2.2.5.1.4.6	<p>Se define área de influencia como: Área en la cual se manifiestan de manera objetiva y en lo posible cuantificable, los impactos ambientales significativos ocasionados por la ejecución de un proyecto, obra o actividad, sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, en cada uno de los componentes de dichos medios. Debido a que las áreas de los impactos pueden variar dependiendo del componente que se analice, el área de influencia podrá corresponder a varios polígonos distintos que se entrecruzan entre sí.</p> <p>Compila las disposiciones reglamentarias del Sector Ambiente. Contiene el reglamento de protección y control de la calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las emisiones de ruido y olores ofensivo, se regula el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medio de control y vigilancia, y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica</p>

Resolución 2254 de 2017	Ministerio del Medio Ambiente Desarrollo Sostenible		Adopta la norma de calidad del aire ambiente la cual incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluyendo nuevos contaminantes y definiendo elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.
----------------------------	-----------------------------------------------------------------	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: (Alcaldia Mayor de Bogotá, 2019).

## 10 Metodología

Para el desarrollo de la investigación el proceso metodológico se dividió en las siguientes etapas.

**Etapas I:** Adquisición de la información base como:

- Topografía

Debido a que es necesario procesar la topografía en el modelo de dispersión para que no se asuma un terreno completamente plano, se determinó a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona de estudio en donde se obtuvo la altura respecto al nivel del mar de cada fuente y receptor a considerar, obtenidas a través de la interfaz de Earth Explorer versión libre que fue desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), definiendo las coordenadas en las cuales era necesario importar las elevaciones.

- Meteorología

A través de la organización MeteoColombia S.A.S se adquirió la meteorología para la zona de coordenadas 36.7764905E, 416.4275219N, el cual se encuentra a 107,4 metros de las estaciones de monitoreo de calidad del aire para el presente estudio. MeteoColombia S.A.S realizó el proceso de modelación meteorológica para la zona mencionada anteriormente utilizando el software WRF.

Los datos obtenidos a través de la simulación con WRF se procesaron con el programa CALMET, el cual estimó los parámetros necesarios para emplear en el modelo de dispersión CALPUFF.

## **Etapla II:** Cálculo del Factor de Emisión y Emisión Horaria de fuentes lineales.

La USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) presenta una metodología para determinar factores de emisión de diferentes contaminantes en función del tipo de fuente del que proviene para posteriormente conocer su emisión promedio. Para el caso de PM10 se calculó de la siguiente manera:

- Factor de Emisión

Para vías No pavimentadas, la USEPA presenta dos posibles factores de emisión: Factor de emisión para vías industriales (Ecuación 1) y factor de emisión para vías públicas. De acuerdo con las características de la vía a estudiar, se encuentra que el tramo vial corresponde a vías industriales, debido al tráfico pesado que circula por la vía.

$$E_f = k \left(\frac{S}{12}\right)^a \left(\frac{W}{3}\right)^b$$

Ecuación 1

Donde:

- Ef: Factor de emisión (kg)/VKT
- (kg)/VKT): Kilogramos de Material particulado emitido por vehículo kilómetro por trayecto
- k, a, b: Constantes empíricas para vías sin pavimentar



Tabla 2.

Valores de las Constantes Empíricas

Constante	PM10
k (lb/VMT)	1,5
a	0,9
b	0,45

Fuente: AP 42 EPA. 1995.

- S: Contenido de finos que pasa la malla 200 del material manejado o de la superficie de las vías (%).
- lb/VMT: Libras de material particulado emitido por vehículo milla por trayecto
- S<sub>Meta</sub> = 10,4%
- Para el contenido de finos se tomaron los datos obtenidos en el estudio realizado por CAIA Ingeniería SAS en las vías sin pavimentar de los departamentos del Meta y Casanare evaluada por medio del método INV E 123 (Instituto Nacional de vías, 2007). 10,4 % para el Meta y 9,5 para el Casanare.
- W: Peso medio del vehículo (toneladas)  
  
Para determinar el peso promedio de los vehículos, se estimaron valores de los vehículos que transitan el tramo vial en estudio en conjunto con DLG ingenieros S.A.S, en la campaña de tráfico del área de perforación exploratoria Llanos 66.
- A partir de lo anterior, se registró en campo el flujo vehicular para el tramo vial del Meta en conjunto con DLG ingenieros S.A.S.

Para la estimación de la emisión por cada tipo de vehículo se requirió que el factor de emisión se encontrara en unidades de  $\mu\text{g (PM10) /VmT}$  para lo cual se emplean los siguientes factores de conversión:

Tabla 3.

*Factores de Conversión*

UNIDADES INICIALES	FACTOR	
1lb/VMT	281,9	g/VKT
1g/VKT	1000	$\mu\text{g/VmT}$

Fuente: Elaboración propia. (DLG Ingenieros S.A.S., 2017)

Donde:

- lb/VMT: Libras de Material particulado emitido por vehículo milla por trayecto
- g/VKT: Gramos de Material particulado emitido por vehículo kilómetro por trayecto
- $\mu\text{g/VmT}$ : Microgramos de Material particulado emitido por vehículo metro por trayecto.

Una vez ajustadas las unidades se calcularon los factores de emisión para cada tipo de vehículo.

- Emisión Diaria

Conociendo cada una de las variables, se determinó el factor de emisión diario para el tramo vial por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{hr} \left[ \frac{\mu\text{gPST}(PM10)}{m^2s} \right] = \frac{E_f \left[ \frac{\mu\text{gPST}(PM10)}{VmT} \right] \times V}{\text{Ancho}[m] * 86400 [s]}$$

Ecuación 2

Donde:

- Ef: Factor de emisión
- V: Número de Vehículos
- Ancho: amplitud de la vía (m).

*Tabla 4.*

*Dimensión del tramo vial*

Vía	Ancho (m)
San Carlos – Pozo Juanito 1	7

Fuente: Elaboración propia con base en información de la campaña de medición. (DLG Ingenieros S.A.S., 2017).

- Además de estimar las Cantidades de Vehículos para el tramo vial en estudio, se determinó el promedio y el valor mayor para cada tipo de vehículo, información que se tuvo en cuenta para calcular el factor de emisión diaria.
- A partir de lo anterior, se registró en campo el flujo vehicular diario para el tramo vial del Meta en conjunto con la compañía de DLG ingenieros S.A.S, el cual tuvo una duración de una semana.

**Etapas III:** Modelación de la dispersión de las concentraciones de contaminantes por el uso de vías sin pavimentar.

Para conocer la dispersión de material particulado en el tramo vial que comunica la cabecera municipal de San Carlos de Guaroa y Puerto López, ubicado en el departamento del Meta se utilizó el modelo de dispersión Gaussiano Calpuff, mediante el cual se realizó la simulación bajo las condiciones meteorológicas provistas y factor de emisión calculado.

**Etapa IV:** Post procesamiento Calpost, esta herramienta permitió realizar el tratamiento de los datos obtenidos resultantes de la ejecución del Calpuff.

**Etapa V:** Generación de isopletas en Arcgis, con base en la información obtenida del Calpost.

**Etapa VI:** Diseño de la Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar.

## 11 Resultados

### 11.1 Factor de emisión

A partir de la información descrita en la metodología, etapa II, sección factor de emisión.

*Tabla 5.*

*Factor de Emisión para el Tramo Vial del Meta*

TIPO DE VEHÍCULO	PESO (TON)	FACTOR DE EMISIÓN g/VKT
		PM10
<b>Autos</b>	1,8	295,4
<b>Busetas</b>	8	578,0
<b>Buses</b>	17	811,4
<b>Carga 1 eje</b>	18	832,6
<b>Carga 2 ejes</b>	22	911,2
<b>Carga 3 ejes</b>	36	1137,3
<b>Carga 4 ejes</b>	40	1192,5
<b>Carga 5 ejes</b>	40	1192,5
<b>Motos</b>	0,2	109,9

Fuente: Elaboración propia con base en información de la campaña de medición.

(DLG Ingenieros S.A.S., 2017)

Una vez ajustadas las unidades teniendo en cuenta el factor de conversión de la tabla 2, se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

*Tabla 6.*

*Factores de Emisión Ajustado*

Tipo de Vehículo	Factor de Emisión (µg/VmT)
	PM10
<b>Autos</b>	295407,3
<b>Buseta</b>	578015,0
<b>Buses</b>	811429,3
<b>1 eje</b>	832571,0
<b>2 ejes</b>	911252,8
<b>3 ejes</b>	1137325,5
<b>4 ejes</b>	1192547,4
<b>5 ejes</b>	1192547,4
<b>Motos</b>	109903,7

Fuente: Elaboración propia con base en información de la campaña de medición. (DLG Ingenieros S.A.S., 2017)

*Tabla 7.*

*Cantidades de Vehículos para el departamento del Meta*

Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos	
	Promedio	Mayor
<b>Autos</b>	4	13
<b>Buseta</b>	0	1
<b>Buses</b>	0	1
<b>1 eje</b>	0	2
<b>2 ejes</b>	6	18

<b>3 ejes</b>	0	0
<b>4 ejes</b>	0	0
<b>5 ejes</b>	0	1
<b>Motos</b>	17	41
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>77</b>

Fuente: Elaboración propia con base en información de la campaña de medición.

(DLG Ingenieros S.A.S., 2017)

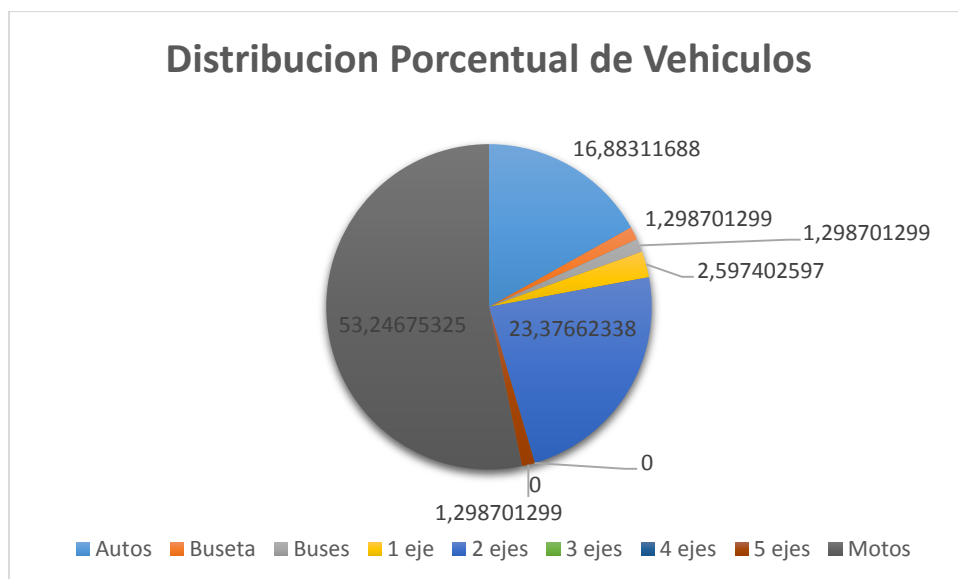


Figura 10. Distribución porcentual de vehículos para el tramo vial asociado al área de perforación exploratoria Llanos 66.

Fuente: Autores, 2019.

Tabla 8.

Cálculo de emisión diaria para el tramo vial.

Tipo de Vehículo	Emisión** (ugPM10/m2*s)
	<b>PM10</b>
<b>Autos</b>	6,349693948
<b>Buseta</b>	0,955712632
<b>Buses</b>	1,341648975
<b>1 eje</b>	2,753210979
<b>2 ejes</b>	27,12061905
<b>3 ejes</b>	0

<b>4 ejes</b>	0
<b>5 ejes</b>	1,971804563
<b>Motos</b>	7,450482308
<b>TOTAL</b>	47,94317245

Fuente: Autores, 2019.

Factor de emisión:  $4,79432E-05\text{g/m}^3$ , dato de entrada para el modelo Calpuff.

## 11.2 Receptores discretos

Se ubicaron 2503 receptores discretos contenidos en una línea recta ortogonal al tramo vial en estudio, se utilizaron estos receptores con la finalidad de determinar el perfil de concentración de material particulado (PM10) en  $\text{ug/m}^3$ , tomando como punto de referencia el centro de la vía y cada dos metros hasta 2.5 kilómetros en ambos costados de la vía (ver figura 4).

### 11.3 Dispersión de la Concentración de PM10 anual

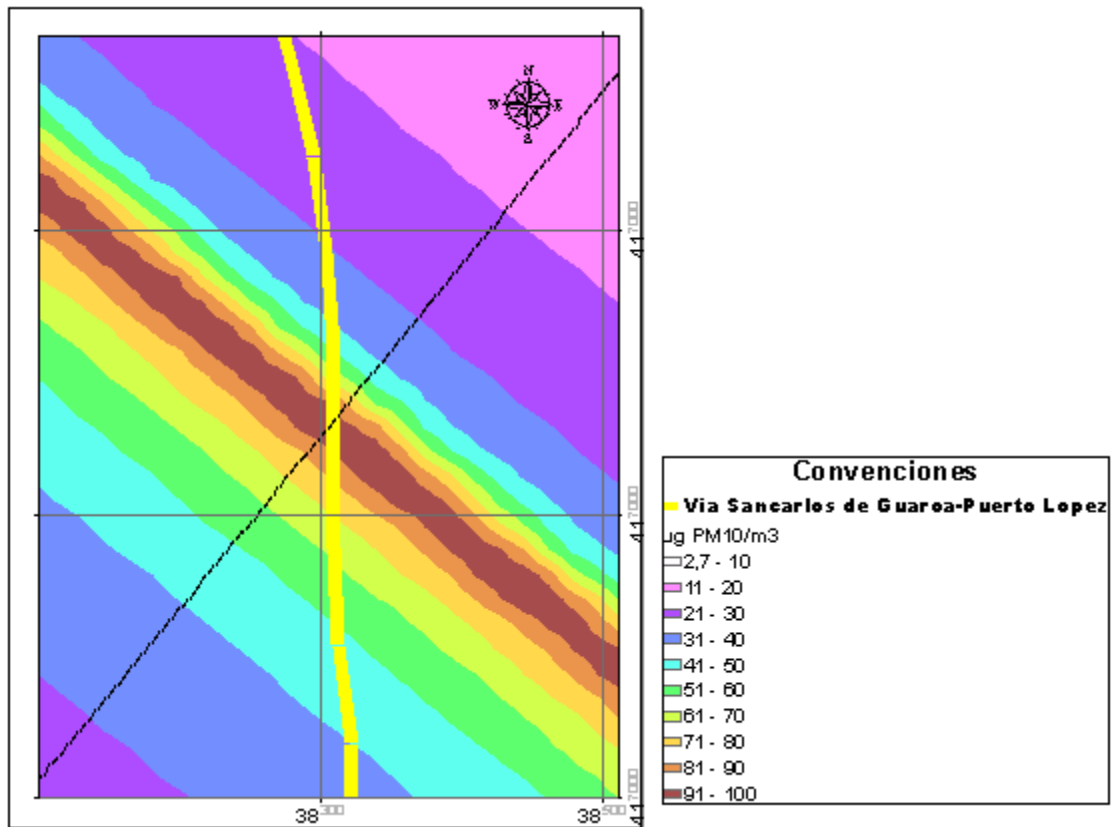


Figura 11. Isopleta de concentración para periodo de exposición anual de material particulado (PM10).

Fuente: Autores, 2019.



## 11.4 Dispersión de la Concentración de PM10 diario

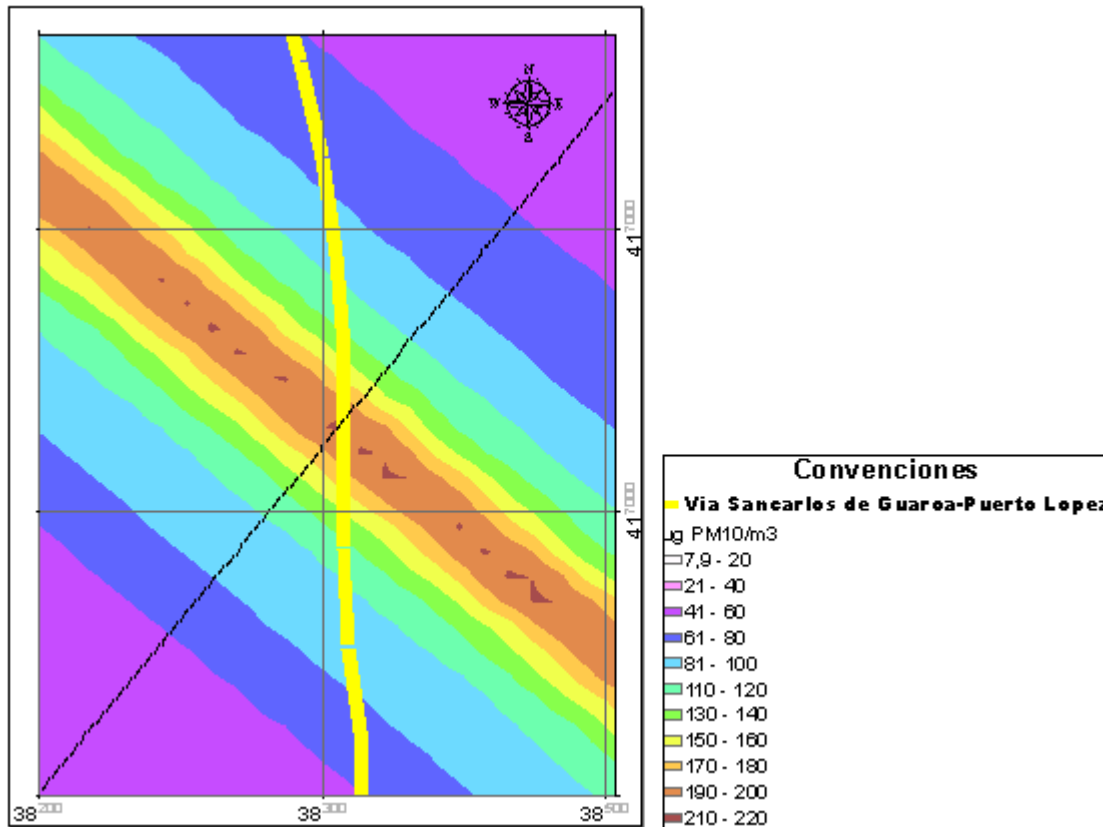


Figura 12. Isopleta de concentración para periodo de exposición diaria de material particulado (PM10).

Fuente: Autores, 2019.

## 11.5 Resultados de modelación de receptores discretos promedios anuales y diarios

A continuación, se muestran los resultados de la modelación del tramo vial y su respectiva área de influencia con base a lo establecido en la resolución 2254 del 2017 en relación a los niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire.

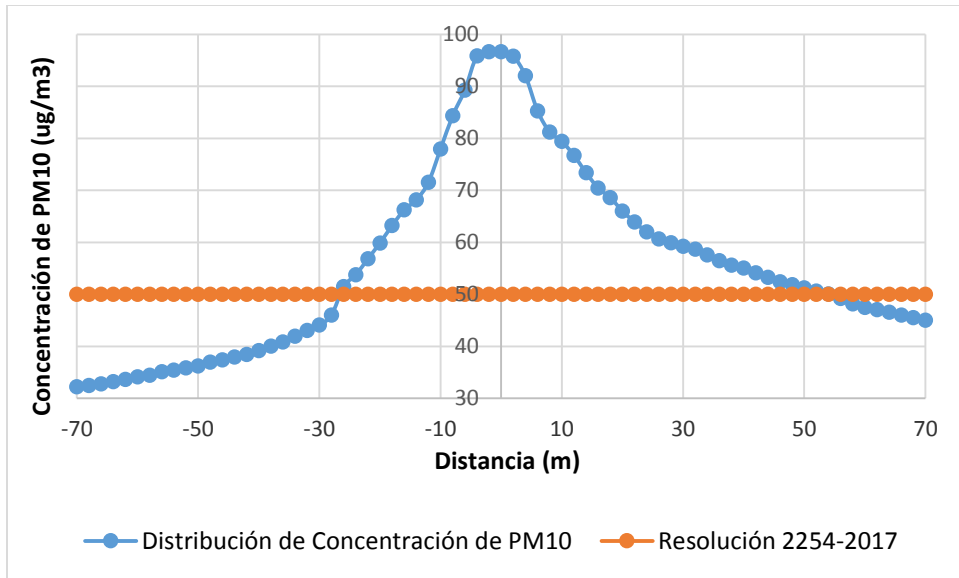


Figura 13. Perfil de concentración de PM10 promedio anual.

Fuente: Autores, 2019.

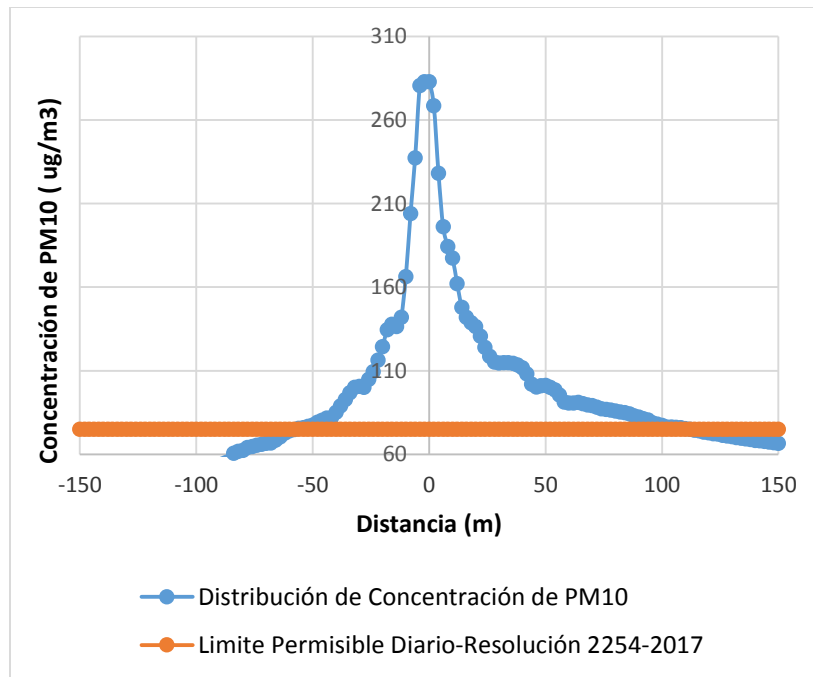


Figura 14. Perfil de concentración de PM10 promedio diario.

Fuente: Autores, 2019.

En la figura 13 se puede observar que el área de influencia para el perfil de concentraciones de PM10 es de 54 metros en ambos costados de la vía, por otra parte, para el perfil de concentración de PM10 diario el área de influencia es de 110 metros. Como se evidencia en los perfiles de concentración, el comportamiento no es totalmente simétrico a lado y lado de la vía, por ende, se asume el área de influencia del lado más crítico, en este caso corresponde al valor más alto, ver (Figura 15).

*Tabla 9.*

*Estimación del error relativo asociado al modelo.*

Estación	PROMEDIO ANNUAL MODELO	PROMEDIO DIARIO MODELO	VALOR MAS ALTO DE LOS MONITOREOS	ERROR RELATIVO ANUAL (%)	ERROR RELATIVO DIARIO (%)
1	55,149	146,76	36,23	52,22	305,08
2	37,344	103,46	41,94	-10,96	146,69
3	37,199	112,49	76,7	-51,50	46,66

Fuente: Autores, 2019.

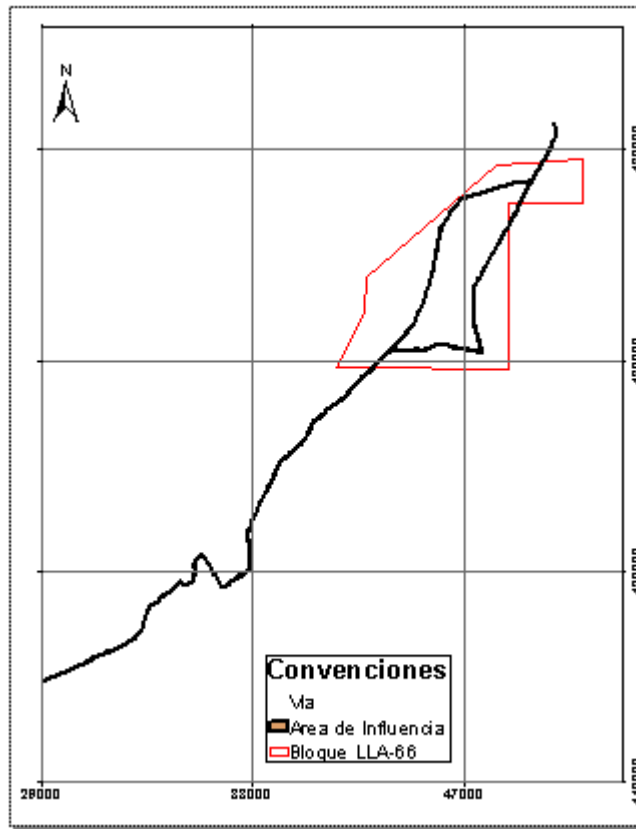


Figura 15. Área de influencia del componente atmosférico en el área de perforación exploratoria Llanos 66

Fuente: Autores, 2019.

**11.6 Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar. (Ver Anexo 1).**

## 12 Análisis

### 12.1 Estimación de factor de emisión

Según el cálculo de emisiones en la Tabla 8. Se puede observar que la mayor contribución a la emisión total la poseen los vehículos de dos ejes, correspondiente a 27,12  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^2\text{s}$ , este tipo de vehículos reportan un porcentaje de 23,37 % respecto a la campaña de flujo vehicular para el área de perforación exploratoria LLA-66, así mismo el tipo de vehículo que reporta menor participación en la emisión total fueron las busetas con una contribución de 0,95  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^2\text{s}$ , el cual representa un 1,29% de participación en relación a la intensidad vehicular durante el aforo realizado.

Se infiere que la cantidad de vehículos representa una variable importante respecto a las emisiones, pero no es tan significativa como otras características asociadas al peso del vehículo y el ancho de los neumáticos. Esto se evidencia en la diferencia de emisiones registradas, ya que, aunque las motocicletas fueron el tipo de vehículo con mayor presencia en la zona de estudio, no representan la mayor contribución a las emisiones.

Cabe resaltar que los lineamientos establecidos por la autoridad nacional de licencias ambientales, determinan las exigencias dependiendo de las actividades, ya sean de exploración o de explotación de hidrocarburos. En el caso de que la licencia se solicite para la fase de exploración, sus intervenciones son mínimas, debido a que, la organización intenta saber si en la zona existe un yacimiento petrolero susceptible a ser explotado, una vez identificado, la organización solicita una licencia ambiental global, en la cual aumentará el nivel de intervención en el desarrollo de la explotación petrolífera. Teniendo en cuenta lo anterior, el flujo vehicular en la fase exploratoria se considera reducido en contraste con la fase de explotación al igual que las afectaciones al ambiente (De Luque, 2016).

## **12.2 Concentración de material particulado PM10 en el tramo vial asociado al área de perforación exploratoria LLA-66.**

De acuerdo a la figura 11, se aprecia que para un periodo de exposición anual el comportamiento de las concentraciones de material particulado respecto de la distancia de los receptores discretos sobre la vía es directamente proporcional, además se presenta una máxima concentración de 96,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 en el centro de la vía y para el caso diario la máxima concentración hallada fue de 283  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 en el centro de la vía. Se puede observar que la concentración de PM10 disminuye a medida que la distancia con respecto al tramo vial aumenta.

## **12.3 Modelación de receptores discretos promedios anuales y diarios.**

Teniendo en cuenta lo expresado en la figura 13, se puede observar el comportamiento simétrico que adopta la distribución de la concentración del PM10 en ambos costados de la vía.

Por otra parte, al fijarse en la figura 14 se puede notar que el área de influencia para valores de concentración de PM10 diarios es de 110 metros, valor que difiere significativamente al obtenido en los resultados de concentración anual, ya que este fue de 54 metros.

## **12.4 Incertidumbre del modelo CALPUFF.**

Según (Manatū, 2004) los modelos de dispersión se correlacionan dos clases de variables: por un lado, se encuentran las conocidas, estas pueden ser medidas, tales como: temperatura, factores de emisión, velocidad y dirección del viento, fuentes y características de receptores, entre otros. Sin embargo, también se presentan otras que no pueden ser medidas como algunos detalles del flujo atmosférico en condiciones convectivas no resueltos. En el instante que empieza a correr el modelo, el cual es una predicción de la realidad, estas variables desconocidas llevan a el deterioro

de la precisión en las concentraciones de contaminantes. Dichas falencias han sido llamadas incertidumbre inherente.

Varios autores coinciden en que los errores típicamente para un modelo que da resultados horarios los errores se encuentran entre -67% a +200%, Otras fuentes atribuyen errores de  $\pm 50\%$  para un receptor en un punto específico.

Los parámetros bajo los cuales se mide la exactitud de un modelo son los errores en las bases de datos y lo concerniente a la física y formulación del modelo, Varios estudios realizados en otros países con el objetivo de medir la exactitud de los modelos han confirmado lo siguiente:

- Los modelos son más fiables para medir concentraciones promedio a largo plazo que para estimar concentraciones a corto plazo en un punto específico.
- Los modelos son bastante fiables estimando picos de concentraciones en un área determinada (los errores para este caso típicamente están entre  $\pm 10\%$  a  $40\%$ ).

Entre más se ajuste el modelo matemático a la física y química de la atmósfera, el modelo presentará mayor precisión, Lo mismo sucede con los datos de entrada, entre mayor sea la calidad de los datos, las concentraciones de salida serán mejores y más aproximadas a la realidad.

Diversas investigaciones realizadas en varios países con la finalidad de calcular la exactitud de los modelos de dispersión han ratificado que estos son más confiables para cuantificar promedios de concentraciones a largo plazo que para medir concentraciones a corto plazo en un punto específico. (Consortio Metro de Bogotá, 2017).

Con base en lo anterior y en los resultados obtenidos en la presente investigación se puede afirmar que los resultados de la figura 13 que corresponden a concentración de PM10 en promedio anual, son más cercanos a la realidad que los de la figura 14, ya que estos hacen alusión a promedios

diarios. Sin embargo, se elige el modelo de promedio de PM10 diario ya que contempla el escenario más desfavorable en cuanto al componente atmosférico, situación que permite la adecuada planeación de las diversas precauciones, medidas, compensaciones que den lugar para el caso específico.

### **12.5 Error Relativo del modelo**

En relación al error relativo se evidencia en la tabla 9, que el porcentaje de error en cuanto a los promedios anuales tiende a ser menor en contraste con los promedios diarios, debido a que se modela una meteorología anual, sustentado según la literatura consultada a lo largo del estudio, ya que los modelos se ajustan en mayor medida a las concentraciones promedio en lapsos prolongados, caso contrario ocurre al estimar concentraciones a corto plazo en un punto específico. Sin embargo, los promedios diarios obtenidos están entre el rango de sobreestimación con respecto a las estaciones 2 y 3, por otra parte, la estación 1, excede el límite típico de 200% de sobreestimación, ya que los datos reflejan un porcentaje de 305.08 % de error relativo.

Además, se menciona que las sobreestimaciones están directamente relacionadas con la eficiencia de los planes de contingencia, las medidas de protección y compensación y los planes de Manejo Ambiental, ya que, para la ejecución de estos se debe tener en cuenta el peor escenario.

### **12.6 Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar.**

Si bien existen diversas investigaciones en donde se utiliza Calpuff como modelador de dispersión de contaminantes, en ninguna fuente bibliográfica revisada para la elaboración de la presente investigación se esclarece de forma asertiva los quehaceres para realizar el modelamiento de los contaminantes en el aire.



*La Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar (Revisar Anexo 1) se diseñó con base en la experiencia de la presente investigación. Tiene como fin convertirse en una herramienta útil y contribuir de manera significativa en futuros proyectos e investigaciones sobre calidad del aire y modelos de dispersión de contaminantes en vías sin pavimentar, siendo vital para cualificar y cuantificar los impactos ambientales del componente atmosféricos asociado al desarrollo de estos proyectos, así mismo facilitar la realización de planes de contingencia y PMA para mitigar, reducir y prevenir dichas afectaciones. Además de instaurarse como un instrumento que contribuya considerablemente en la gestión ambiental del recurso aire.*

### 13 Conclusiones

- Los niveles de concentración de PM10 son inversamente proporcionales a la distancia entre los receptores discretos y la vía, ya que estos disminuyen a medida que aumenta la distancia y viceversa.
- Generalmente, el monitoreo constante de los niveles de PM10 genera altos costos y es limitado, los modelos de dispersión son instrumentos los cuales facilitan la evaluación de impactos que producen las actividades realizadas. Los datos de entrada y el trabajo de campo son indispensables para la obtención de resultados con incertidumbres aceptables que ayuden a comprender el comportamiento de los contaminantes a evaluar.
- En la medida en que el inventario de emisiones sea más exacto y la distancia entre la estación meteorológica y las fuentes de emisiones sea menor, se reducirá la incertidumbre en las estimaciones de las predicciones.
- Esta investigación ofrece una perspectiva para la gestión y manejo de la calidad del aire en proyectos en fase exploratoria del sector hidrocarburos que usan vías sin pavimentar por medio de herramientas de modelación de la calidad del aire, además de darle un mayor alcance a la *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia* emitida por la ANLA.

- El tratamiento que se le realiza a los datos en este tipo de estudios es de vital importancia ya que permite identificar de forma más asertiva el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en determinada área.
- Aunque la modelación de la calidad del aire es muy importante solo permite vislumbrar una fracción del comportamiento real de la polución atmosférica en determinada zona, cuyos resultados pueden ser útiles para la generación de futuras estrategias de minimización y/o reducción de emisiones.
- Las variables que tienen mayor incidencia en el grado de precisión de los modelos de dispersión son: el modelo matemático y la calidad de los datos de entrada.

## 14 Recomendaciones

- Determinar un valor de recuperación de carga de sedimento en la zona de estudio, mediante el cual se puedan ajustar los resultados que se obtengan, esta evaluación es necesaria para garantizar la homogeneidad de los resultados, debido a que una de las variables más significativas en la obtención de las muestras de material particulado susceptible de resuspensión es la precipitación, la cual genera lavado del sedimento vial por escorrentía.
- Realizar monitoreo de PM10 tanto en temporada húmeda, como en temporada seca, teniendo en cuenta el comportamiento climático de la zona de interés, con el objetivo de reducir los sesgos en la estimación de la carga de sedimento por los eventos de precipitación.
- Para futuras investigaciones sobre el tema, se recomienda utilizar meteorologías cercanas al área de interés, para aumentar la precisión de la modelación de los contaminantes atmosféricos que se puedan originar por el uso de vías sin pavimentar en proyectos de exploración de hidrocarburos.

## 15 Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2019). Medición, Protección y Control de Calidad. Retrieved April 6, 2019, from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=28035>
- Alcaldía Municipal de San Carlos de Guaroa. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial*.
- Alemán, M. (2016). Determinación del Área de Influencia para planta de embotelladora de bebidas Inca. In Entrix Americas S.A (Ed.), *Estudio de Impacto Ambiental Expost Planta Norte Embotelladora de Bebidas el Inca* (pp. 1–9). Quito.
- Álvarez, I., Mendez, J., Bello, B., Benitez, B., Escobar, M., & Zamora, R. (2017). Atmospheric contaminants influence on health. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160–1170.
- Arango, C. y Ruiz, J. (s.f). Implementación del Modelo WRF Para la Sabana de Bogotá. IDEAM. Bogotá, Colombia.
- Arciniegas, C. (2012). Diagnosis and Control of Particulate Matter: Total Suspended Particles PM10 Breathable Fraction. *Luna Azul ISSN*, (34), 195–213. <https://doi.org/Inf.tecnol.4308it.09>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018). *Guía Para la Definición, Identificación y Delimitación del Área de Influencia*.
- Cardozo, Martínez, A., & Saldarriaga. (2007). Sistema de Vigilancia Epidemiológica sobre la Calidad del Aire en el Valle del Aburrá, 76.
- Centro mexicano de derecho ambiental. (2011). Recomendaciones de política pública para mejorar la calidad del aire en México.
- Chakraborty, M. K., Ahmad, M., Singh, R. S., Pal, D., Bandopadhyay, C., & Chaulya, S. K. (2002). Determination of the emission rate from various opencast mining operations. *Environmental Modelling and Software*, 17(5), 467-480. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(02\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(02)00010-5)
- Conesa, V. (1993). Guía Metodológica Para La Evaluación Del Impacto Ambiental. *Mundi Prensa*.
- Consortio Metro de Bogotá. (2017). *Estructuración Técnica del Tramo I de la primera línea del Metro de Bogotá: Modelo de Dispersión de Contaminantes*. Bogotá: Ingetec S.A.
- Cornell Law School. (s. f.). 40 CFR Appendix J to Part 50, Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere | US Law | LII / Legal Information Institute. Recuperado 1 de octubre de 2018, a partir de [https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-J\\_to\\_part\\_50](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-J_to_part_50)
- Departamento Nacional de Planeación. 2015. *Plan Nacional de Desarrollo, Todos Por un Nuevo País 2014 - 2018. (tomo I). Gobierno de Colombia* (Vol. 53).
- De Luque, M. (2016). *Guía metodológica para la determinación del área de influencia del componente atmosférico por el tránsito de vehículos en vías sin pavimentar en proyectos del sector hidrocarburos en los llanos orientales*. Pontificia Universidad Javeriana.

- Encinas, M. D., & Gomez de Baluguera, Z. (2011). *Evaluacion de Impacto Ambiental: Aspectos Teoricos* (1st ed.). España.
- Exponent. (2018). Sistema de Modelado Calpuff. Retrieved April 6, 2019, from <https://translate.google.com/translate?hl=es-419&sl=en&u=http://www.src.com/&prev=search>
- Galindo García, I. F. (1999). Librería de software de procedimientos meteorológicos para modelos de dispersión de contaminates, 133.
- Gómez, C. (2014). El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. *Cambio climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba*, 90-101. Recuperado a partir de <http://bit.ly/2JmOPQH>
- Green, J., & Sánchez, S. (2013). La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica.
- Huertas, M. E., Huertas, J. I., & Valencia, A. (2017). Vehicular road influence areas. *Atmospheric Environment*, 151, 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.006>
- Green, J., & Sánchez, S. (2013). La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica.
- IDEAM. (2014). Contaminación Atmosférica. Retrieved from Contaminación y Calidad Ambiental website: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>.
- Leon, G., Torres, C., Aragon, G., Villareal, A., Arango, C., Latorre, D., Suarez, D. (2011). Validación del modelo de pronóstico numérico WRF para su uso operativo en la universidad nacional de Colombia. Universidad Nacional.
- López, E., Montes, E., Garavito, A., & Mercedes, M. (2013). La Economía Petrolera en Colombia (Parte II) Relaciones Intersectoriales. *Borradores de Economía*, 748(Parte II), 57. Recuperado a partir de [http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be\\_748.pdf](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_748.pdf)
- Manatū. M. (2004) Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling. Ministry for the Environment.
- Manzur, M. E., Benzal, G., & González, S. N. (2012). *Atmospheric pollutants dispersion model*.
- Manzur, M., Benzal, G., & González, S. (2013). Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. *Actas VII Congreso de Medio Ambiente AUGM*, 1-19. Recuperado a partir de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26838/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26838/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Martinez, E., & Diaz, Y. (2004). *Contaminación Atmosférica* (1st ed.). España: Editores de la Universidad de Castilla.
- Martinez, M. (2012). Impacto Social Y Ambiental De La Explotación De Los Recursos Naturales En Colombia.
- Méndez, J., Pinto, L., Galvis, B., & Pachón, J. (2017). Estimation of resuspended dust emission factors before, during and after road paving process in Bogotá. *Ciencia E Ingeniería*

*Neogranadina*, 27(1), 43–60. <https://doi.org/10.18359/rcin.1797>

- Ministerio De Agricultura, y D. R. (2013). *San Carlos de Guaroa SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA MUNICIPAL*.
- Ministerio de Ambiente. (2019). Contaminación Atmosférica. Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica>
- Ministerio de Economía y Competitividad. (2018). Modelización de la contaminación atmosférica. Recuperado 4 de septiembre de 2018, a partir de <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do?IDM=56&NM=3>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Terminos de Referencias para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental Explotación de Proyectos Mineros, 1-114. Recuperado a partir de [https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion\\_y\\_participacion\\_al\\_ciudadano/Consulta\\_Publica/TR\\_Mineria\\_general\\_04\\_08\\_2014\\_ANLA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/TR_Mineria_general_04_08_2014_ANLA.pdf)
- Ministerio de Planificación Federal. (2009). Diagnostico Del Area De Influencia Del Proyecto. In *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto: “R.P N°314, TRamo San Miguel de Tucúman-Tafí Viejo. Provincia de Tucúman”* (pp. 147–150).
- Ministerio de Salud. (2018). *Metodología para la caracterización de zonas con exposición a posibles fuentes de contaminación del aire*.
- Narváez, H. M., Combatt, E. C., & Bustamante, I. B. (2014). Distribución Espacial De La Salinidad En Suelos Del Área De Influencia De La Desembocadura Del Río Sinú (Córdoba, Colombia) Spatial Distribution of the Soil Salinity in the Area of Influence of the Sinú River Mouth (Cordoba-Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 433-443.
- Nicholson, K. W., Branson, J. R., Giess, P., & Cannell, R. J. (1989). The effects of vehicle activity on particle resuspension. *Journal of Aerosol Science*, 20(8), 1425-1428. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(89\)90853-7](https://doi.org/10.1016/0021-8502(89)90853-7)
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- Oyarzún, M. (2010). Air pollution and its effects on health. *Rev Chil Enf Respir*, 25.
- Perevochtchikova, M. (2011). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión Y Política Pública*, 22(2), 283–312.
- Pinto, L., & Mendez, J. (2015). Evaluación Del Impacto En Calidad Del Aire, Asociado A Resuspensión De Material Particulado Por La Pavimentación De La Vía Principal De Caracolí – Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. *Universidad de La Salle*. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Prada, A. (2014). MARCO INSTITUCIONAL Y LEGAL COLOMBIANO Por Ángela María Prada Cadavid 1.

- Rayén Q., M. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. SERIE Manuales* (Vol. 16). Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/11362/5570>
- Ruiz, C. F. (2006). Caracterización Del Material Particulado En Las Principales Vías Del Transporte Público Las Principales Vías Del Transporte Público. *Universidad de Los Andes*, 98.
- Ruiz, J. F., (2008). Implementación del Modelo WRF en el IDEAM. Nota Técnica IDEAM-METEO/003 2008. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá. D.C., Colombia.
- Scire, J., Strimaitis, D., Tech, R. Y.-E., Concord, I., MA, U., & 2000, U. (2000). A user's guide for the CALPUFF dispersion model. *Lem.Org.Cn*. Concord: Eearth Tech, Inc.
- Simioni, D. (2003). *Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana*. Recuperado a partir de [http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/12530/lcg2201p\\_e.pdf%5Cnhttp://bibhumartes.ucl.a.edu.ve/DB/bcucla/edocs/libros/lcg2201p\\_e.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/12530/lcg2201p_e.pdf%5Cnhttp://bibhumartes.ucl.a.edu.ve/DB/bcucla/edocs/libros/lcg2201p_e.pdf)
- State of Alaska Department of Environmental Conservation (Alaska DEC). (2011). Fugitive Dust – What is it? Why Should I Care? Retrieved from [https://dec.alaska.gov/air/ap/docs/FugitiveDust\\_3-31-11Final2.pdf](https://dec.alaska.gov/air/ap/docs/FugitiveDust_3-31-11Final2.pdf)
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G. (2005). A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical
- Torres, A. (2008). *Aplicación Práctica Del Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos – ISCST3*. Escuela de Negocios.
- USEPA. (2006). 13.2.2 Unpaved Roads. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, AP-42*, 1-20. Recuperado a partir de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>.
- USEPA. (2018). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. E.U. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>.
- Wang, Z., Zheng, T., Zhu, Z., Homer, R., Riese, R., Chapman, H., ... Elias, J. (2000). Interferon induction of pulmonary emphysema in the adult murine lung. *Journal of Experimental Medicine*, 192(1587), 1587–1600.
- Yang, X., Pei, Y., Fang, W., Zhang, Y., Xiao, Y., & Cheng, M. (2003). Isolation and characterization of a carboxylic transport protein JEN1 and its promoter from *Metarhizium anisopliae*. *Yi Chuan Xue Bao.*, 30(3), 283–288.
- Zuluaga, C., & Parra, J. (2010). Estudio De La Dispersión De Contaminantes Atmosféricos En La Jurisdicción De Cornare: Informe General, (173), 1-19.



## 16 Anexos

### 16.1 Anexo 1.

## Guía metodológica para la determinación del Área de Influencia del componente atmosférico por el uso de vías sin pavimentar

Ingresar a la pagina <http://www.src.com/> y hacer clic en descargar.



Engineering and Scientific Consulting



- » Ciencias de la atmosfera
- » Modelo CALPUFF
- » Descargar
- » Preguntas frecuentes
- » Entrenamiento CALPUFF
- » Conjuntos de datos
- » Servicios de modelado de dispersión regulatoria
- » Servicios de soporte regulatorio
- » Conjunto de datos WRF de la Columbia Británica

### Sistema de modelado CALPUFF

CALPUFF es un avanzado sistema de modelado meteorológico y de calidad del aire no estacionario desarrollado por científicos en Exponent, Inc. Es mantenido por los desarrolladores del modelo y distribuido por Exponent. El modelo ha sido incluido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) como un modelo alternativo para evaluar el transporte a largo plazo de contaminantes y sus impactos en las áreas de Clase I Federal y para ciertas aplicaciones de campo cercano que involucran condiciones meteorológicas complejas cuando ocurre la selección y el uso, de acuerdo con la autoridad de revisión apropiada y la aprobación de la Oficina Regional de la EPA (consulte los detalles sobre el [estado reglamentario de CALPUFF](#)).

El sistema de modelado consta de tres componentes principales y un conjunto de programas de preprocesamiento y posprocesamiento. Los componentes principales del sistema de modelado son CALMET (un modelo meteorológico tridimensional de diagnóstico), CALPUFF (un modelo de dispersión de la calidad del aire) y CALPOST (un paquete de posprocesamiento). Además de estos componentes, hay muchos otros procesadores que se pueden usar para preparar datos geofísicos (uso del suelo y terreno) en muchos formatos estándar; datos meteorológicos (datos de superficie, aire superior, precipitación y boyas); e interfaces con otros modelos, como el modelo Penn State / NCAR Mesoscale Model (MMS), los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) Eta / NAM y RUC, el modelo de Investigación y Predicción del Clima (WRF) y el modelo RAMS.

Algunos ejemplos de aplicaciones para las que CALPUFF puede ser adecuado incluyen:

- » Impactos de campo cercano en situaciones complejas de flujo o dispersión.
  - » Terreno complejo
  - » Estancamiento, inversión, recirculación y condiciones de fumigación.
  - » Transporte sobre aguas y condiciones costeras.
  - » Velocidad del viento ligero y condiciones de viento tranquilo.
- » Transporte de largo alcance
- » Evaluaciones de visibilidad y estudios de impacto de área clase I
- » Criterios de modelado de contaminantes, incluida la aplicación al desarrollo del Plan de Implementación Estatal (SIP)
- » Formación de contaminantes secundarios y modelado de materia particulada.
- » Área de flotación y fuentes de líneas (p. Ej., Incendios forestales e instalaciones de reducción de aluminio)

### Distribución del Sistema de Modelización CALPUFF:

El sistema de modelado CALPUFF está disponible de Exponent sin cargo. Los modelos principales (CALMET, CALPUFF y CALPOST) y los procesadores relacionados están disponibles para descargar. También puede registrarse para recibir avisos de actualizaciones de modelos.

Haga clic para descargar



Leer las condiciones y Aceptarlas en caso de estar de acuerdo.



Engineering and Scientific Consulting



- » Ciencias de la atmosfera
- » Modelo CALPUFF
- » Descargar
- » Preguntas frecuentes
- » Entrenamiento CALPUFF
- » Conjuntos de datos
- » Servicios de modelado de dispersión regulatoria
- » Servicios de soporte regulatorio
- » Conjunto de datos WRF de la Columbia Británica

### Acuerdo de licencia de usuario final de CALPUFF

Exponent, Inc. proporciona los códigos modelo de CALMET, CALPUFF y CALPOST y los programas de procesamiento asociados con una licencia de uso limitado y sin costo sujeto a las siguientes restricciones:

- (1) Ninguna parte de los códigos de computadora provistos se pueden reproducir, copiar, extraer o implementar en otros modelos o programas de software sin el permiso previo por escrito de Exponent.
- (2) Los programas de computadora y los conjuntos de datos contenidos en este sitio no se pueden distribuir a otros sin el permiso previo por escrito de Exponent.
- (3) El permiso para modificar los códigos de computadora de Fortran (excepto los módulos ISOROPPIA que están sujetos a un Acuerdo de Uso por separado, ver (6) a continuación) se otorga a los usuarios con la disposición de que las versiones modificadas de los códigos de modelo deben proporcionarse prontamente a Exponent, junto con la documentación escrita apropiada e instrucciones de uso, para su posible inclusión en futuras revisiones de los modelos. El uso de cualquiera de dichos cambios provistos por el usuario en futuras actualizaciones del modelo es a discreción exclusiva de Exponent. El derecho a la distribución ilimitada por parte del Exponente de cualquier modificación provista por el usuario al código y cualquier descripción escrita de los cambios, y el derecho al uso ilimitado del código modificado por todos los usuarios, sin compensación de ningún tipo para el usuario que aporta el código, es aceptado por el usuario como parte de este acuerdo de licencia. El código del modelo confirmará el código suministrado por el usuario aceptado por Exponent para su uso en versiones futuras del modelo. Exponent se reserva el derecho de modificar, adaptar o ampliar las modificaciones de código provistas como parte de este acuerdo.
- (4) Todos los informes, documentos u otras publicaciones que involucren el uso o análisis de los programas, algoritmos y métodos contenidos en el software en este sitio deben consultar las Guías del usuario en este sitio como la referencia principal para los modelos. Las aplicaciones que impliquen el uso de versiones modificadas de los modelos y procesadores asociados harán referencia a las Guías del usuario en este sitio e indicarán claramente que el código fue modificado por el usuario, y contendrá una descripción de las modificaciones.
- (5) Ninguna parte de las descripciones técnicas o instrucciones del usuario de las Guías del usuario se pueden reproducir sin el permiso previo por escrito de Exponent.
- (6) El uso del módulo ISORROPIA incluido en CALPUFF y POSTUTIL está autorizado por sus desarrolladores siempre que todos los usuarios cumplan con sus Términos de uso tal como se detalla en la [página web de ISORROPIA](#). Todos los códigos de computadora asociados con este módulo están claramente identificados y no pueden ser modificados.
- (7) Es responsabilidad del usuario determinar si el sistema de modelado CALPUFF es apropiado para alguna aplicación en particular, y el usuario asume toda la responsabilidad y la responsabilidad de su uso. Los códigos de computadora pueden y contienen códigos, implementación y errores técnicos. El software de este sitio se proporciona "tal cual", y no se ofrece ninguna garantía de su idoneidad para ninguna aplicación en particular. Exponent no asume responsabilidad alguna por el uso de este software.

La instalación y / o el uso de los programas  aceptan la aceptación de los términos de este acuerdo.



Estoy de acuerdo que  estoy en desacuerdo

## Llenar los datos correspondientes



Engineering and Scientific Consulting



- » Atmospheric Sciences
- » CALPUFF Model
- » Download
- » FAQs
- » CALPUFF Training
- » Data Sets
- » Regulatory Dispersion Modeling Services
- » Regulatory Support Services
- » British Columbia WRF Dataset

### Register for Free Upgrades

Please join the CALPUFF User mailing list to receive notices of software upgrades, training courses, and new information on the CALPUFF Modeling System. If you do not wish to receive updates, or if you have already registered, you may [skip registration](#) and continue to the download area.

#### Skip Registration

#### Registration form for CALPUFF Updates

\*Name:

Organization:

Address:

\*City:  State:

Zip:

\*Country:

Phone:

\*Email:

Additional Information:



## Descargar la guía de usuario y la versión más actualizada de *Calpuff*.



Engineering and Scientific Consulting



- » Atmospheric Sciences
- » CALPUFF Model
- » Download
- » FAQs
- » CALPUFF Training
- » Data Sets
- » Regulatory Dispersion Modeling Services
- » Regulatory Support Services
- » British Columbia WRF Dataset

### CALPUFF Modeling System Downloads

#### Sections:

- » CALPUFF Documentation
- » CALPUFF System: Official USEPA-Approved Version
- » CALPUFF System: Version 7
- » CALPUFF System: Version 6

#### CALPUFF Documentation

##### User Guides

- » CALMET (Version 5) User Guide (1.4 MB)
- » CALPUFF (Version 5) User Guide (3.2 MB)

##### MMS-Sponsored CALPUFF Model Updates (March 2006)

- » Project Overview (18.7 KB)
- » Volume 1: Technical Upgrades (1.90 MB)
- » Volume 1: Appendix (See Surface Temperature Datasets) (9.37 MB)
- » Volume 2: Updates to CALMET and Preprocessors Users Guide (4.14 MB)
- » Volume 3: Updates to CALPUFF and Postprocessors Users Guide (4.49 MB)
- » Model Evaluation Paper: Scire, J.S., D.G. Strimatis and FR. Robe, 2005: Evaluation of Enhancements to the CALPUFF Model for Offshore and Coastal Applications. P International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. Sissi (Malta), Crete, Greece. 17-20 October 2005.

### Codes & Related Processors: Version 7

The CALPUFF modeling system is comprised of CALMET, CALPUFF, geophysical data preprocessors, meteorological data preprocessors, and several postprocessors designed to operate on CALMET and CALPUFF output files.  
The downloads available here focus individually on each component, providing input files, the executable, and the FORTRAN code (in most cases).  
Download links are provided below.

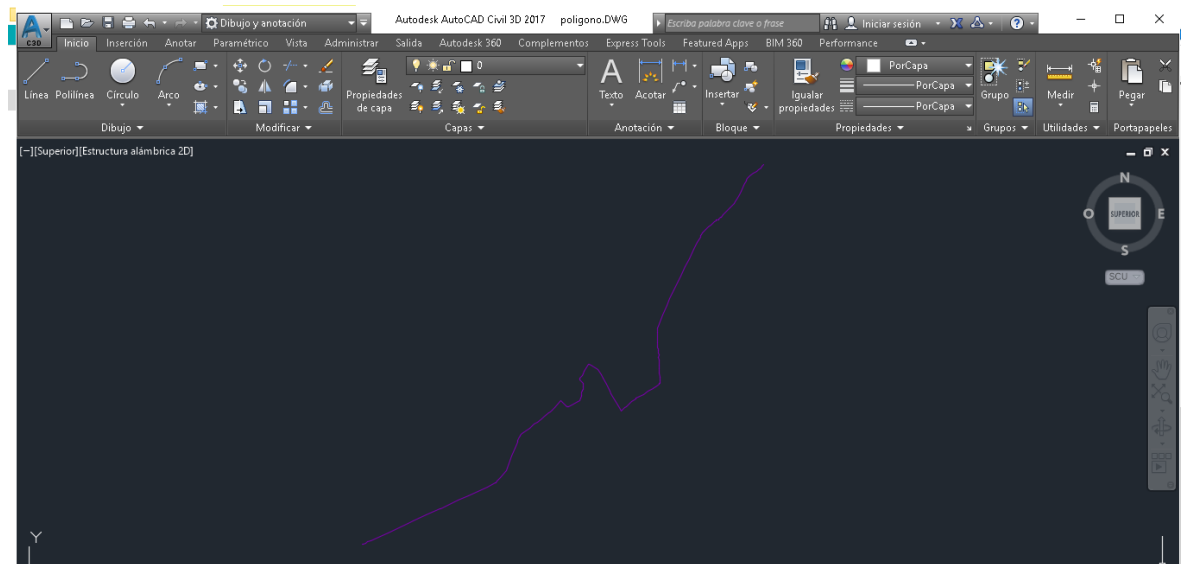
#### Main Models

- CALMET** Version 6.5.0 (150223) -- 3-D diagnostic meteorological model. Updated on June 22, 2015.
- CALPUFF** Version 7.2.1 (150618) -- Non-steady-state transport, dispersion, and deposition model. Updated on June 22, 2015.

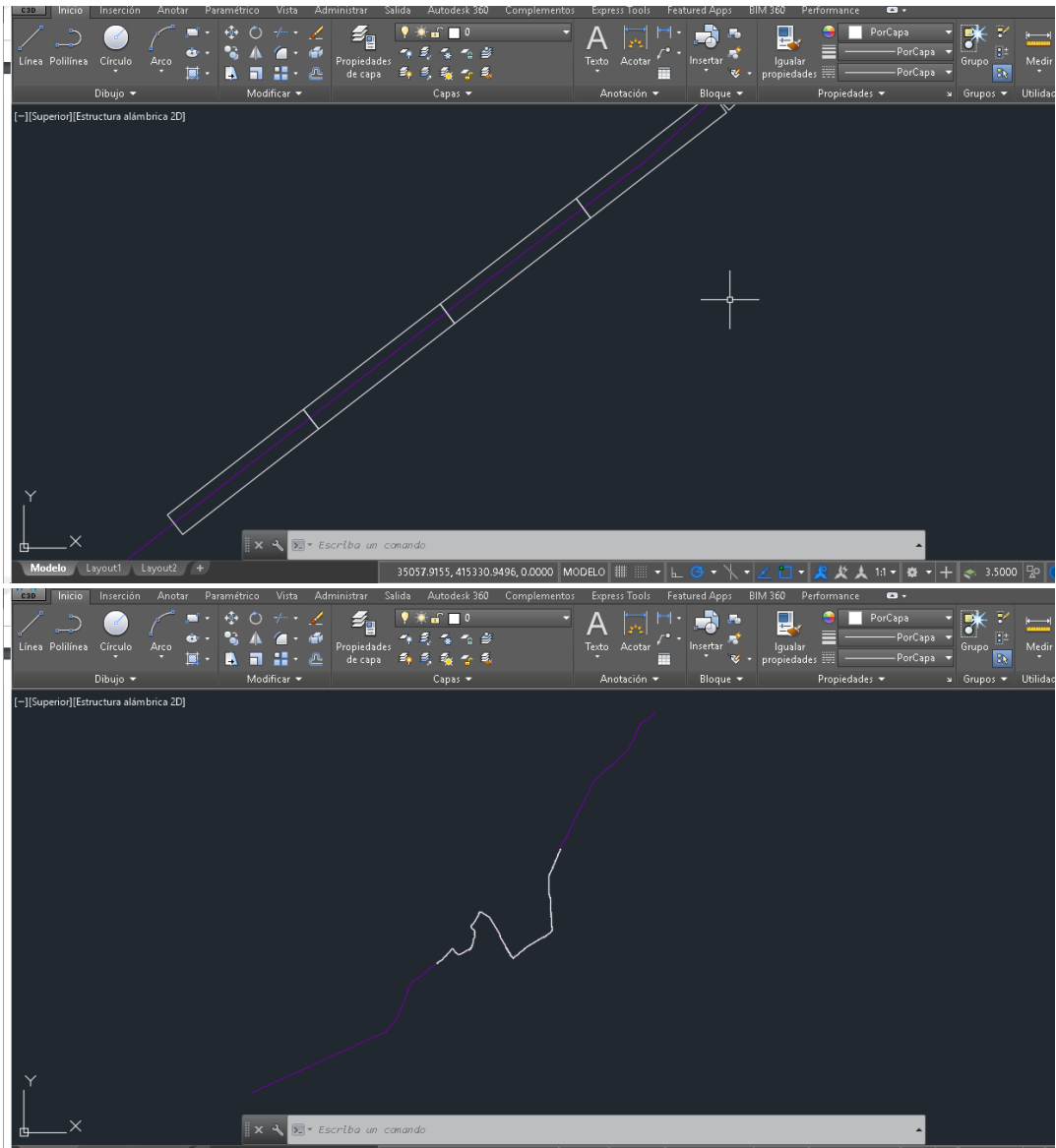
#### Postprocessors

- CALPOST** Version 7.1.0 (141010) -- Postprocessor for CALPUFF; performs visibility calculations, averages and summarizes concentrations and deposition fluxes, determines ranked concentration/flux/plume extinction values, creates list files and plot files. Contains the recommended FLAG (2010) techniques on visibility/regional haze assessments. In addition, CALPOST v6 contains an option to compute daily peak one-hour concentration values consistent with the new U.S. 1-hour SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> standards. Updated on June 22, 2015.
- PRTMET** Version 4.495 (110225) -- Lists selected meteorological data from CALMET and creates plot files. Updated on April 14, 2011.
- APPEND** Version 7.0.0 (141001) -- Appends two or more CALPUFF concentration, wet flux, dry flux or relative humidity (visibility) files. Updated on June 22, 2015.
- CALSUM** Version 7.0.0 (150330) -- Sums and scales concentrations or wet/dry fluxes

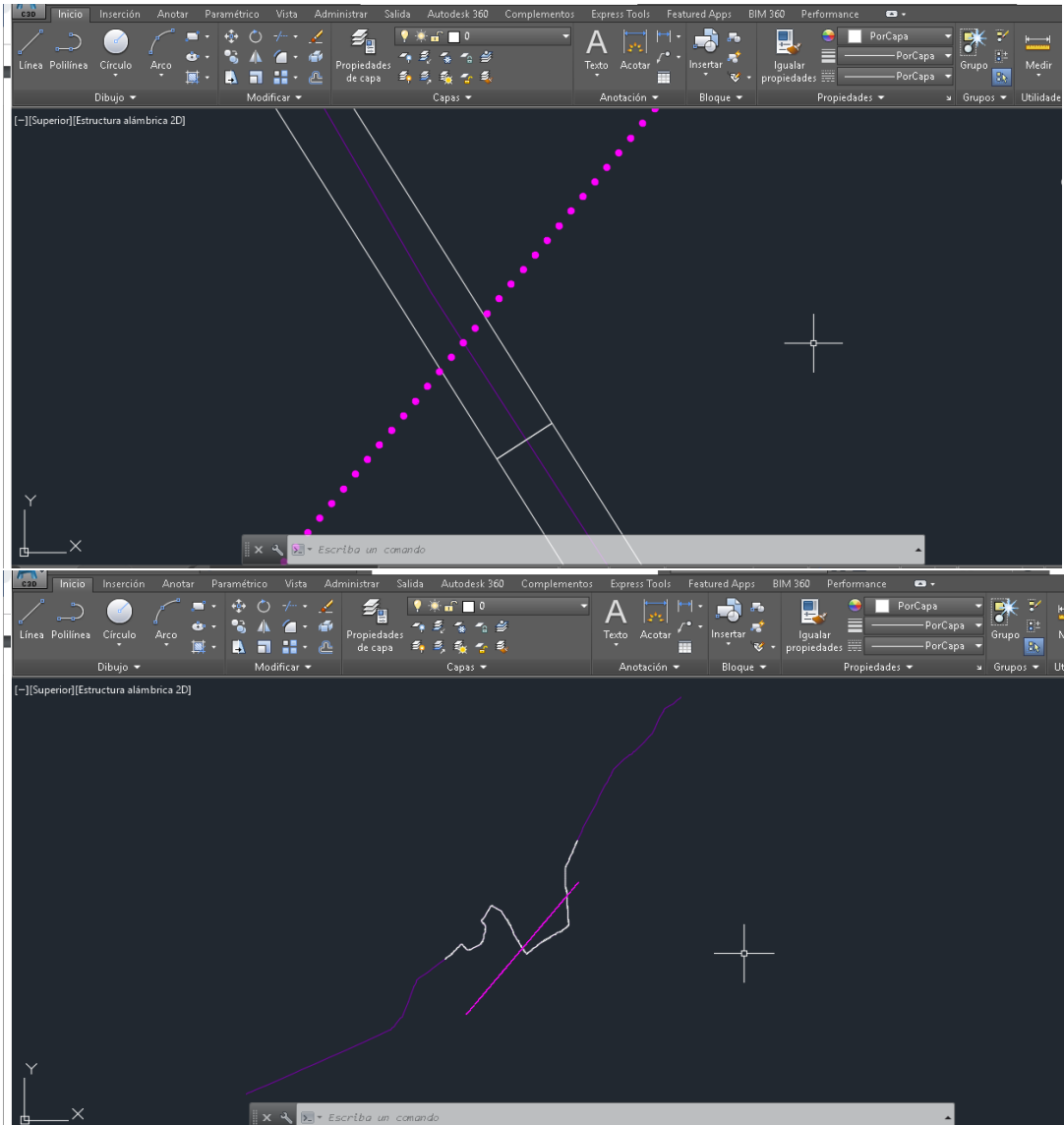
Digitalizar la vía sin pavimentar en ArcGis, posteriormente, exportar el archivo *Shape* de la vía a AutoCAD.



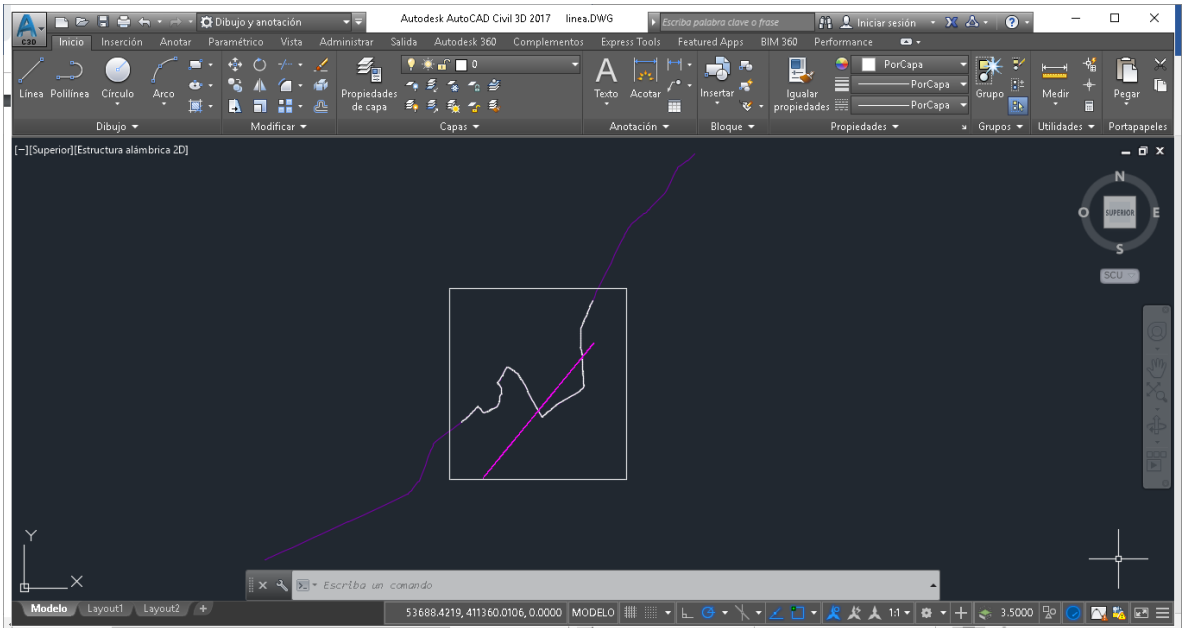
Seguido a esto seccionar el tramo de la vía que se desea estudiar con rectángulos; se recomienda que el ancho de estos sea lo más cercano posible al ancho real de la vía y el largo lo determine el investigador, teniendo en cuenta la extensión de la misma.



Por medio de la herramienta *Matriz* realizar una línea ortogonal (receptores discretos) a una sección media del tramo en estudio. La extensión de esta secuencia de puntos es de 2.500 con una separación de 2 metros cada uno para aumentar su precisión. Una vez realizado esto, utilizar la herramienta *Descomponer* en la línea matriz para que cada punto sea independiente y pueda ser utilizado fácilmente en ArcGis.

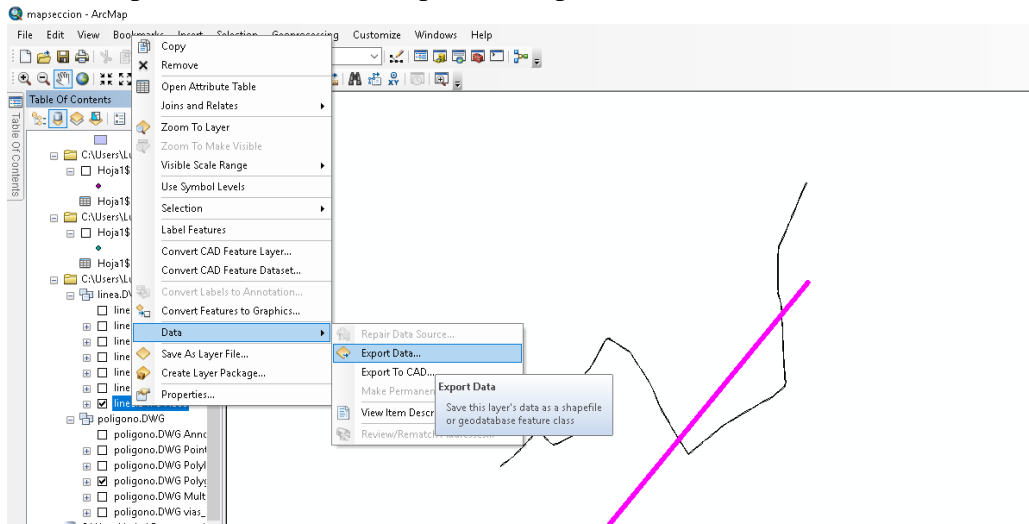


Realizar un rectángulo que abarque la totalidad del segmento en estudio para obtener las coordenadas de la grilla de modelación. Dichas coordenadas se introducen a Calpuff y estas corresponden a las de la esquina suroeste y noreste del rectángulo.

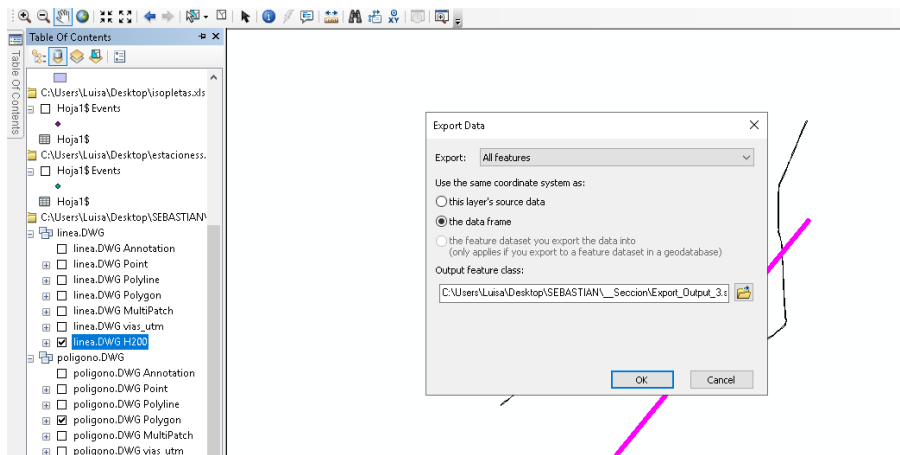


Guardar el archivo DWG y exportarlo a ArcGis

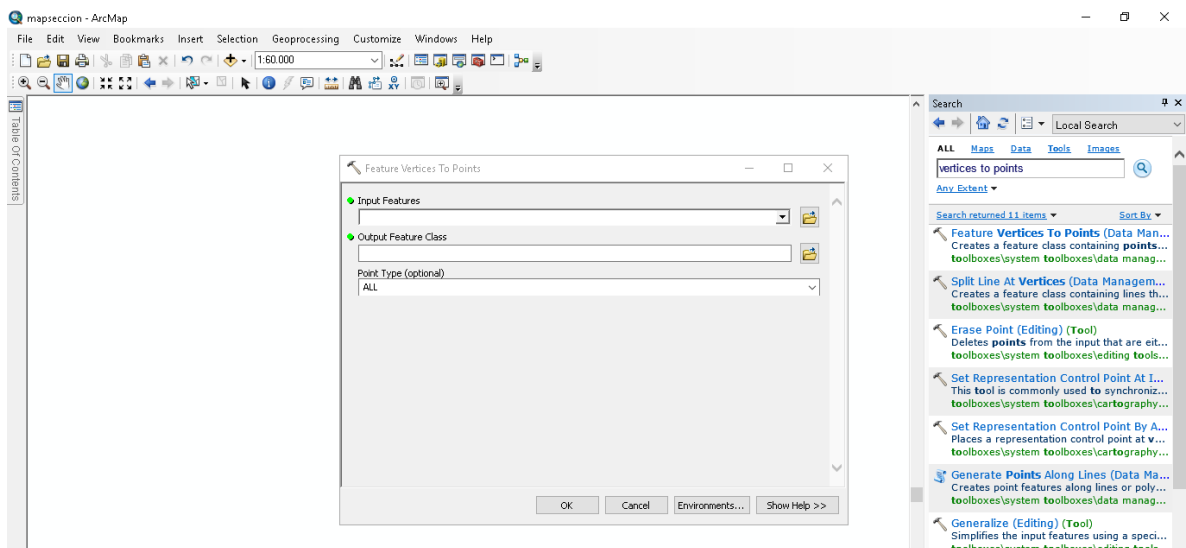
Escoger los datos de los receptores discretos y los rectángulos, no tener en cuenta las demás capas. Convertir estas capas en Shape



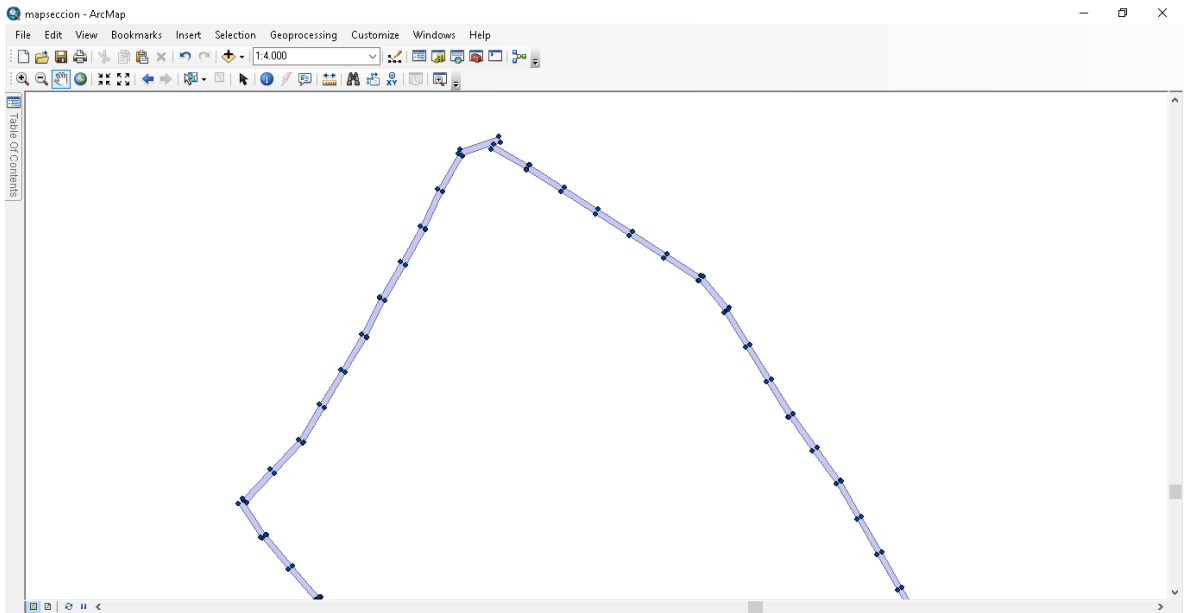
Utilizar el *data frame* para que no se presenten incongruencias con el sistema de coordenadas.



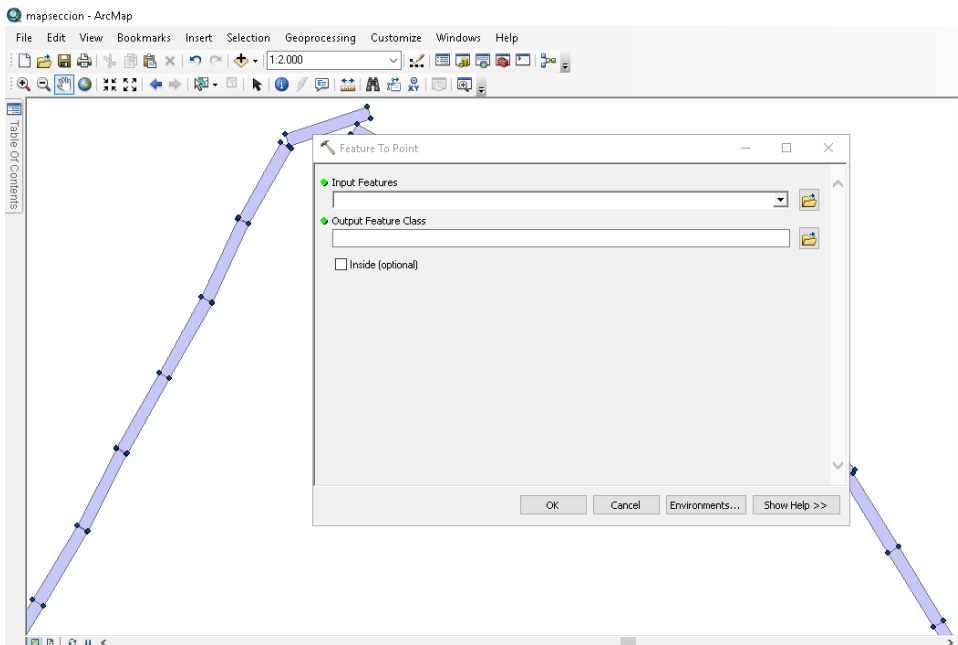
Usar la herramienta *Feature Vertices to Points* en la sección de *Input Features* ingresar el Shape creado a partir de la capa de los rectángulos.



El Shape de Salida debe resultar con la demarcación de las esquinas de cada rectángulo

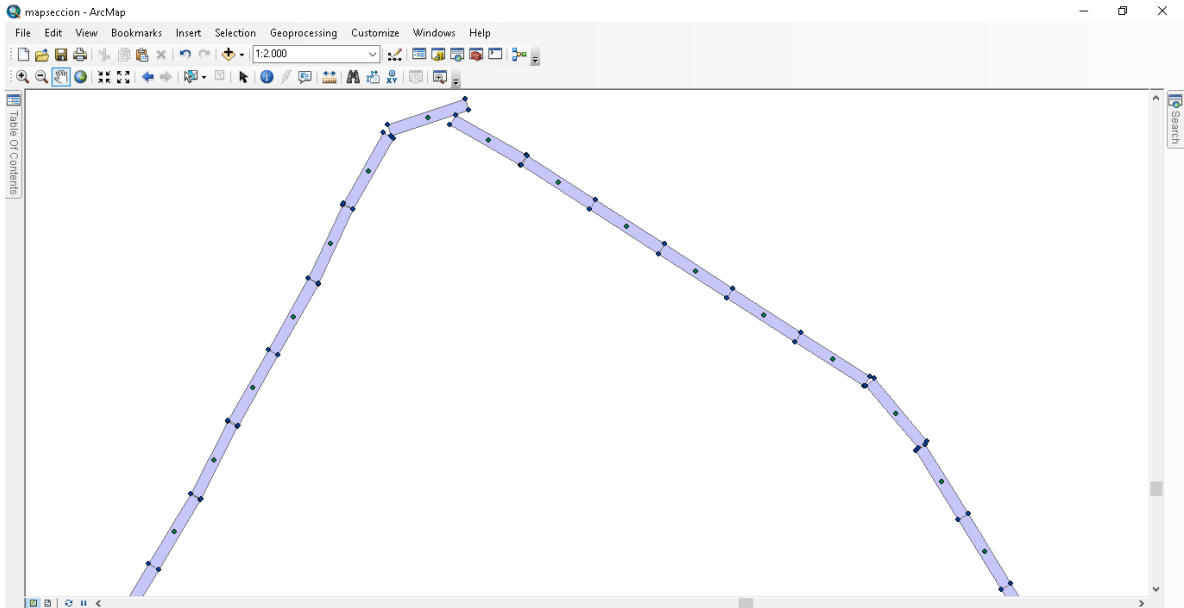


Emplear la herramienta *Feature to Point* en la sección de *Input Features*, ingresar el Shape creado a partir de la capa de los rectángulos.

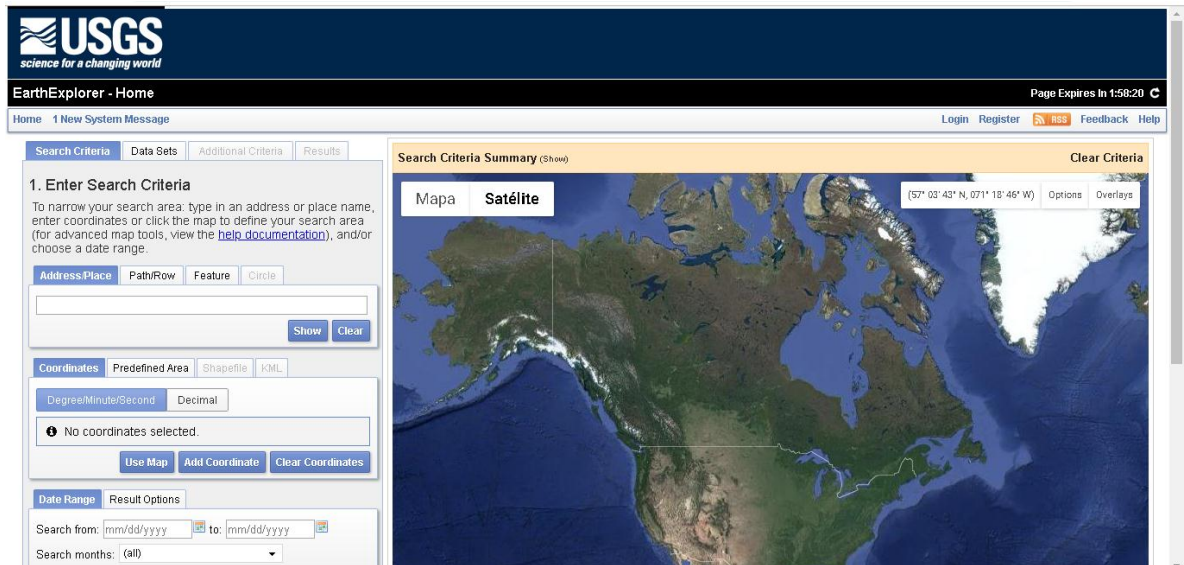


El Shape de Salida debe resultar con la ubicación de un punto en el centro de cada rectángulo

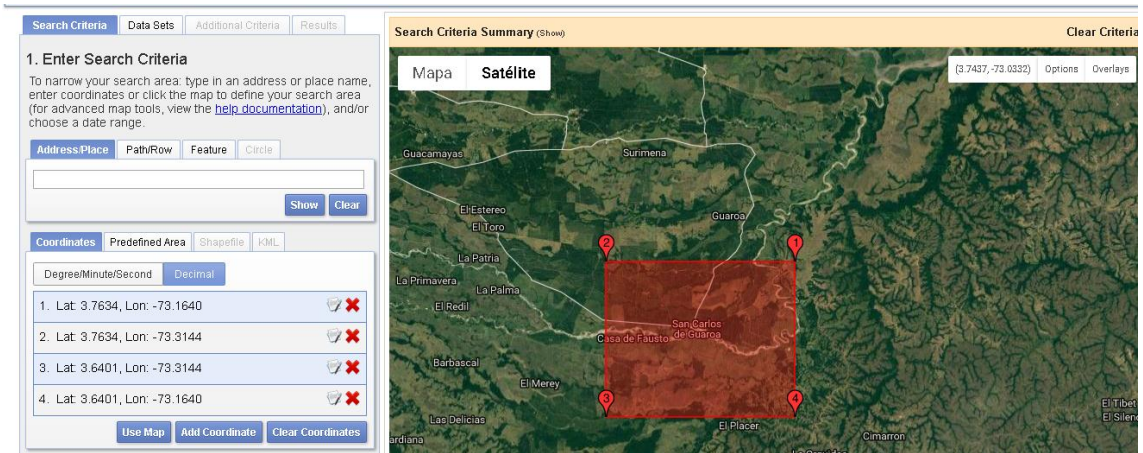




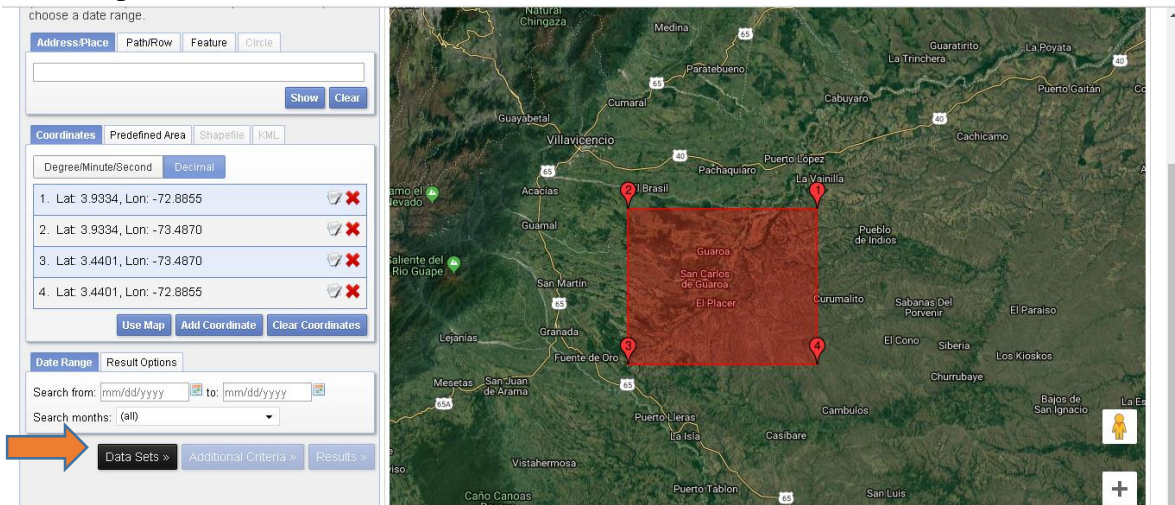
Para obtener los datos topográficos del terreno, ingresar a la pagina <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Demarcar la zona que se pretende estudiar



### Usar la opción *Data Sets*



Desplegar la sección *Digital Elevation*, seleccionar la opción *ASTERGLOBAL DEM* y dar clic en *Results*

name to show a list of data sets.

Use Data Set Prefilter (What's This?)

Data Set Search:

- Aerial Imagery
- AVHRR
- CEOS Legacy
- Commercial Satellites
- Declassified Data
- Digital Elevation
  - ASTER GLOBAL DEM
  - CoNED TBDEM
  - EDNA
  - GMTED2010
  - GTOPO30
  - GTOPO30 HYDRO 1K
  - IFSAR Alaska
- SRTM
- Digital Line Graphs
- Digital Maps
- EO-1
- Global Fiducials
- HCMM
- ISERV
- Land Cover

Clear All Selected

**EarthExplorer - Home** Page Expires

Home [1 New System Message](#) [Login](#) [Register](#) [RSS](#) [Feedback](#)

Search Criteria [Data Sets](#) [Additional Criteria](#) [Results](#)

### 4. Search Results

If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

**Note:** You must be logged in to download and order scenes

Show Result Controls

Data Set [Click here to export your results](#)

ASTER GLOBAL DEM

Please note LP DAC weekly maintenance is Wednesday 0800-1200 Central Time. HTTP download will be unavailable.

« First » Previous 1 Next » Last »

Displaying 1 - 1 of 1

Entity ID: ASTGDEM\_V2\_0S07W080  
Coordinates: 6.5, -79.5  
Acquisition Date: 17-OCT-11

« First » Previous 1 Next » Last »

Search Criteria Summary (Show) [Clear](#)

Mapa **Satélite** (3,9540,-74,2385) Options

Dar clic en descargar

USGS  
science for a changing world

EarthExplorer

Home Save Criteria Load Favorite Manage Criteria Item Basket (0) juanchosierar@gmail.com Page Expires

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

#### 4. Search Results

If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

Show Result Controls

Data Set [Click here to export your results](#)

ASTER GLOBAL DEM

Entity ID: ASTGDEM2\_0N04W076  
Acquisition Date: 17-OCT-11  
Coordinates: 45 -75.5

Mapa Satellite

Search Criteria Summary (Show)

Mapa Satellite (04° 49' 41" N, 075° 57' 54" W) Options

Map showing a satellite view of a region with a brown shaded area indicating the search results. The map includes labels for various locations like LA ROCHELA, LA ESTRELLA, CALDAS, LA ZULIA, POTREROS, ATUFERRA, LAS GALERIAS, LA VIRGINIA, CERRITOS, TRES PUERTAS, LA FEORIDA, LA YAY, SAN RAMON, POTREROS, and LA VIRGINIA.

En caso de estar de acuerdo, aceptar las condiciones

disasters in support of the GEO Disaster Theme.

When presenting or publishing ASTER DEM data, users are required to include a citation stating, "ASTER DEM is a product of METI and NASA."

Because there are known inaccuracies and artifacts in the data set, please use the product with awareness of its limitations. The data are provided "as is" and neither NASA nor METI/ERSDAC will be responsible for any damages resulting from use of the data.

Users will not use the DEM data for purposes of monetary reward by means of the sale, resale, loan transfer, hire or other form of commercial exploitation;

Users accessing the data may generate derived products and re-distribute such derived products only if someone cannot recover the original x-y-z values from the new product;

It is the responsibility of the user to adhere to these terms and conditions.

[Next](#)  [I agree to the above End User License Agreement](#)

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices Google Maps API Disclaimer

Guardar el archivo. Una vez este guardado se procede a descomprimirlo, ya que se descarga una carpeta .rar

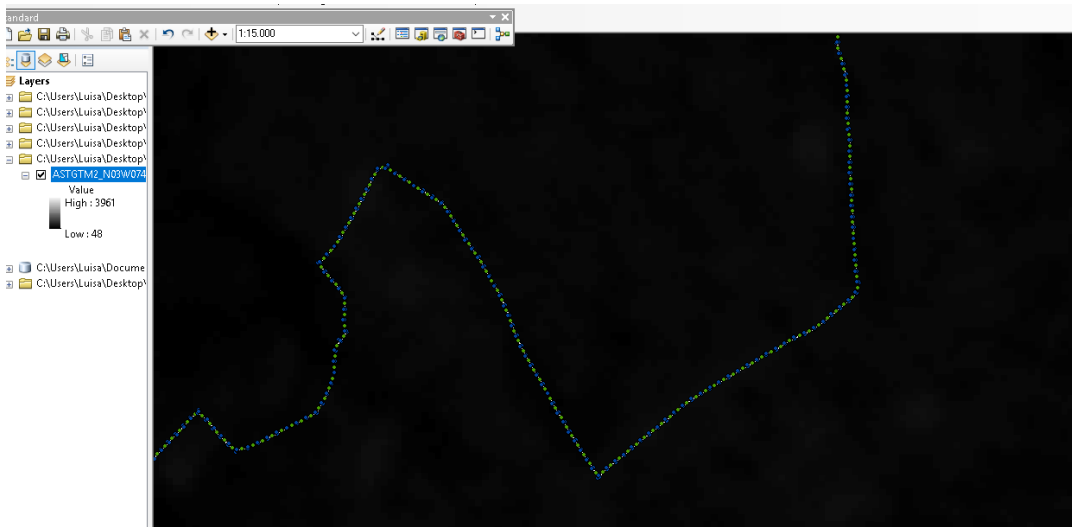
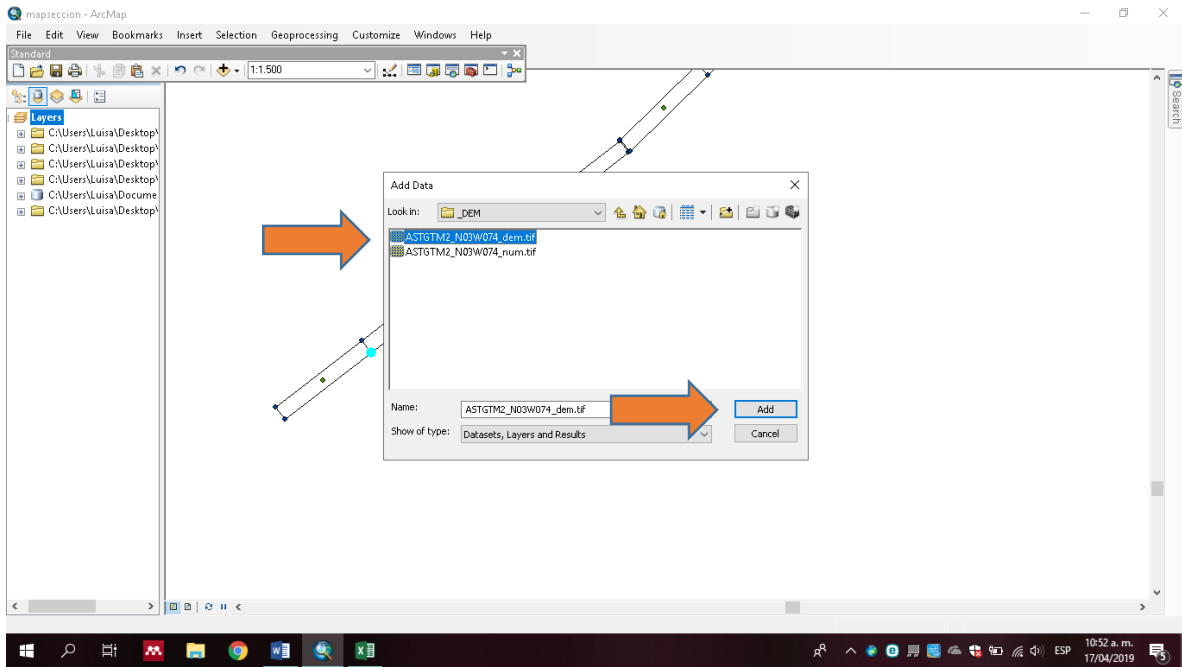
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
ASTGTM2_0N04W076	2010.10.18.03.07	Archivo WinRAR Z...	17,373 KB

- Abrir
- Abrir con WinRAR
- Extraer ficheros...
- Extraer aquí
- Extraer en ASTGTM2\_N03W074\
- Analizar con ESET NOD32 Antivirus
- Opciones avanzadas
- Compartir
- Abrir con
- Dar acceso a
- Restaurar versiones anteriores
- Enviar a
- Cortar
- Copiar
- Crear acceso directo
- Eliminar
- Cambiar nombre
- Propiedades

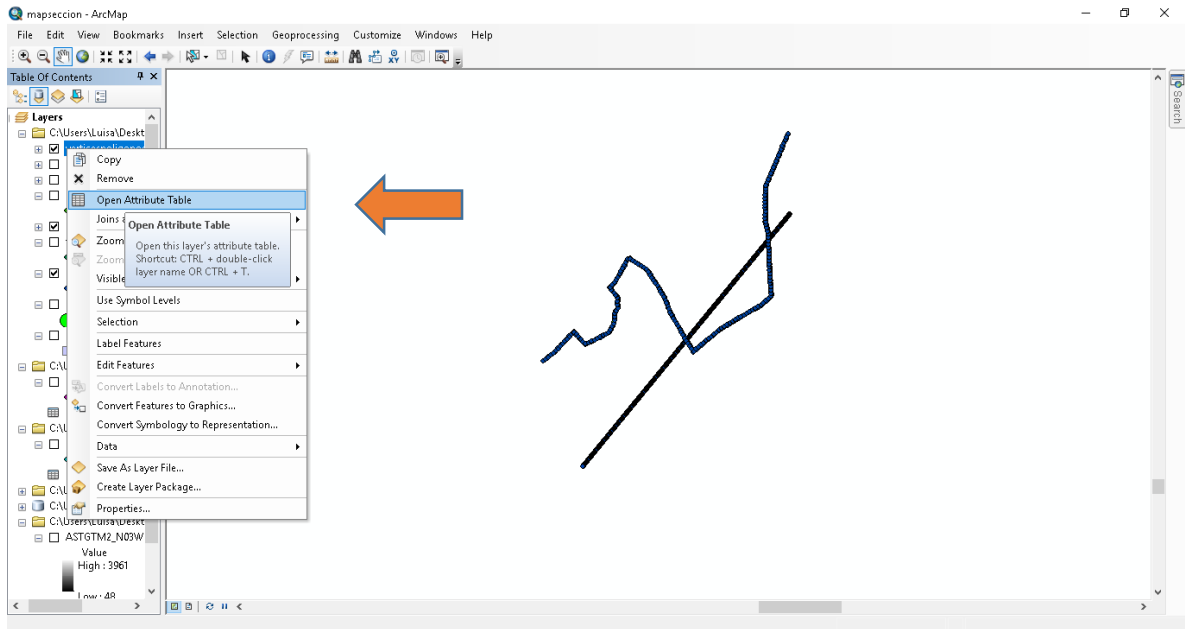
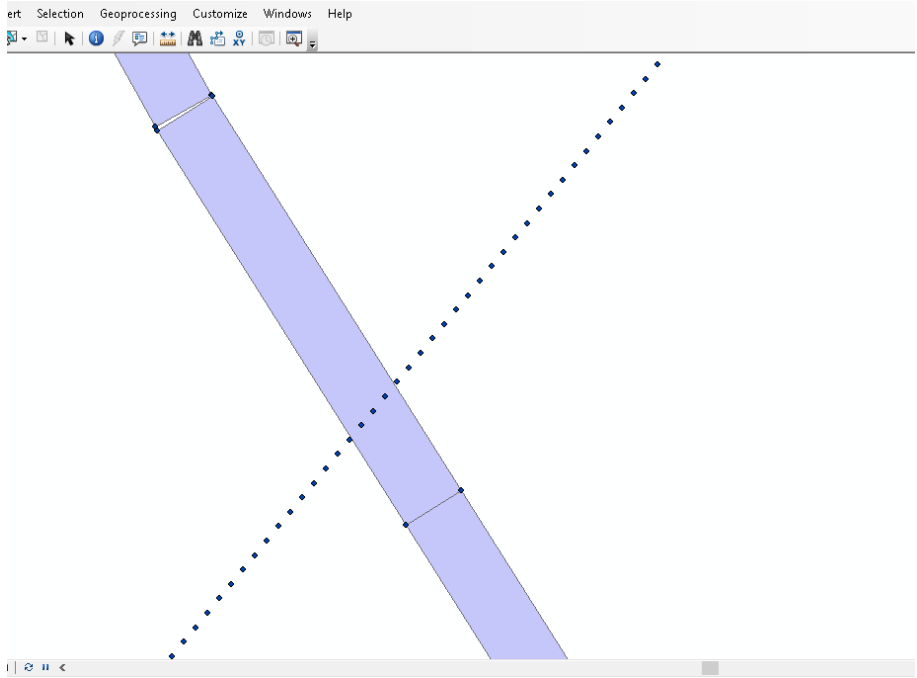
Se despliegan los siguientes archivos y solo se tendrá en cuenta el archivo que tiene al final de su nombre *\_dem*

Nombre	Fecha de modificac...	Tipo	Tamaño
ASTGTM2_N03W074	28/01/2019 10:07 a...	Archivo WinRAR Z...	17.373 KB
ASTGTM2_N03W074_dem	14/03/2011 11:03 ...	Archivo TIF	25.356 KB
ASTGTM2_N03W074_num	14/03/2011 11:03 ...	Archivo TIF	25.356 KB
README	5/10/2011 7:46 p. m.	Adobe Acrobat D...	267 KB

Ir a *Add Data*, buscar la carpeta donde se guardó el DEM, seccionar el archivo y agregar



Abrir la tabla de atributos de el **Shape de los vértices de los rectángulos** y el **Shape de los receptores discretos**



Agregar campo

Table

Find and Replace...

Select By Attributes...

Clear Selection

Switch Selection

Select All

Add Field...

Turn All Field Add Field

Show Field Adds a new field to the table.

Arrange Tables

Restore Default Column Widths

Restore Default Field Order

Joins and Relates

Related Tables

Create Graph...

Add Table to Layout

Reload Cache

Print...

Reports

Export...

Appearance...

	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName	ORIG_FID		
7	Continuous	0	25	0	25		0		
7	Continuous	0	25	0	25		1		
7	Continuous	0	25	0	25		2		
7	Continuous	0	25	0	25		3		
7	Continuous	0	25	0	25		4		
7	Continuous	0	25	0	25		5		
7	Continuous	0	25	0	25		6		
7	Continuous	0	25	0	25		7		
7	Continuous	0	25	0	25		8		
7	Continuous	0	25	0	25		9		
7	Continuous	0	25	0	25		10		
7	Continuous	0	25	0	25		11		
7	Continuous	0	25	0	25		12		
7	Continuous	0	25	0	25		13		
7	Continuous	0	25	0	25		14		
7	Continuous	0	25	0	25		15		
7	Continuous	0	25	0	25		16		
7	Continuous	0	25	0	25		17		
7	Continuous	0	25	0	25		18		
7	Continuous	0	25	0	25		19		
7	Continuous	0	25	0	25		20		
7	Continuous	0	25	0	25		21		
7	Continuous	0	25	0	25		22		
7	Continuous	0	25	0	25		23		
7	Continuous	0	25	0	25		24		
7	Continuous	0	25	0	25		25		
7	Continuous	0	25	0	25		26		
7	Continuous	0	25	0	25		27		
7	Continuous	0	25	0	25		28		
7	Continuous	0	25	0	25		29		
7	Continuous	0	25	0	25		30		
31	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	31
32	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	32
33	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	33
34	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	34
35	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	35
36	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	36
37	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	37
38	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	38
39	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	39
40	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	40
41	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	41
42	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	42
43	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25	43

Llenar los campos, en este caso, el nombre de la columna será "x"

Table

elevacionespoligonos

FID	Shape *	FID	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName	ORIG_FID
0	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		0
1	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		1
2	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		2
3	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		3
4	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		4
5	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		5
6	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		6
7	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		7
8	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		8
9	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		9
10	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		10
11	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		11
12	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		12
13	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		13
14	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		14
15	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		15
16	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		16
17	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		17
18	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		18
19	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		19
20	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		20
21	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		21
22	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		22
23	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		23
24	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		24
25	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		25
26	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		26
27	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		27
28	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		28
29	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		29
30	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		30
31	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		31
32	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		32
33	Point	0	LWPolyline	0	7	Continuous	0	25		33

Add Field

Name: x

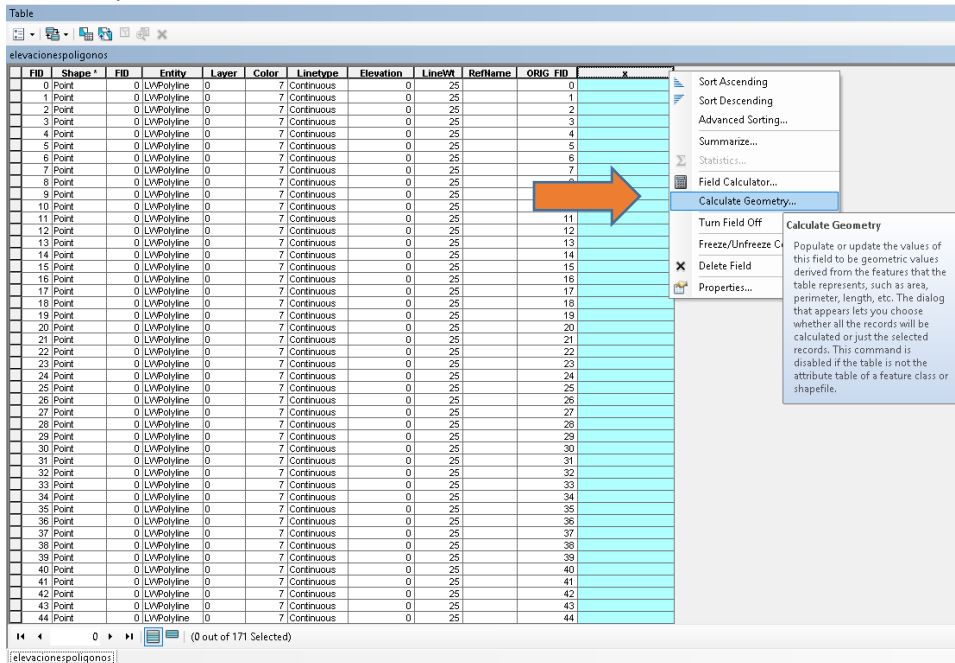
Type: Text

Field Properties

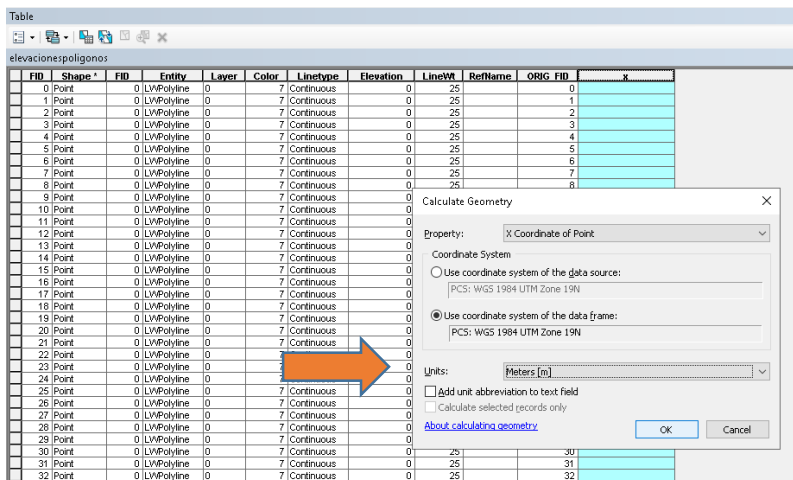
Length: 50

OK Cancel

Seleccionar la columna creada, dar clic derecho en ella y seleccionar la opción *Calculate Geometry*.

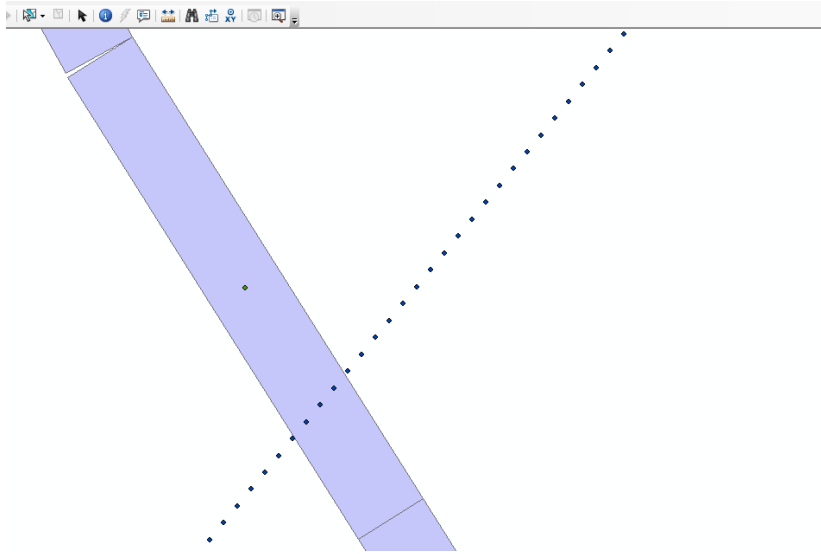


En la opción *Property* seleccionar *X coordinate of Point*. Seleccionar las coordenadas que se está usando en el *Data Frame* para evitar incongruencias en el sistema de coordenadas. Usar metros como unidades.

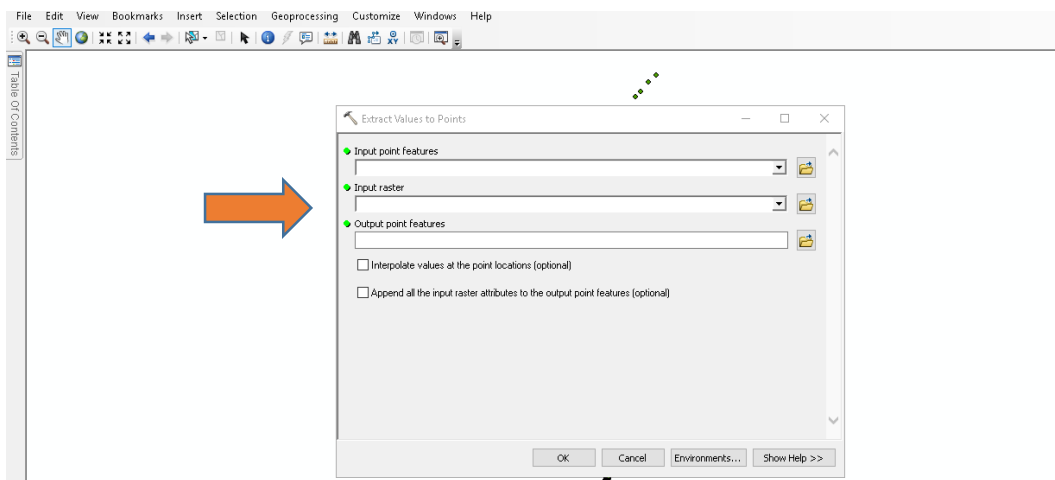








Utilizar la herramienta *Extract Values to Points*. El dato de entrada seleccionar alguno de los dos Shapes anteriormente. En la sección de *Input Raster* Seleccionar al archivo que se extrajo del DEM. Nombrar el archivo y seleccionar la carpeta donde se guardará este.



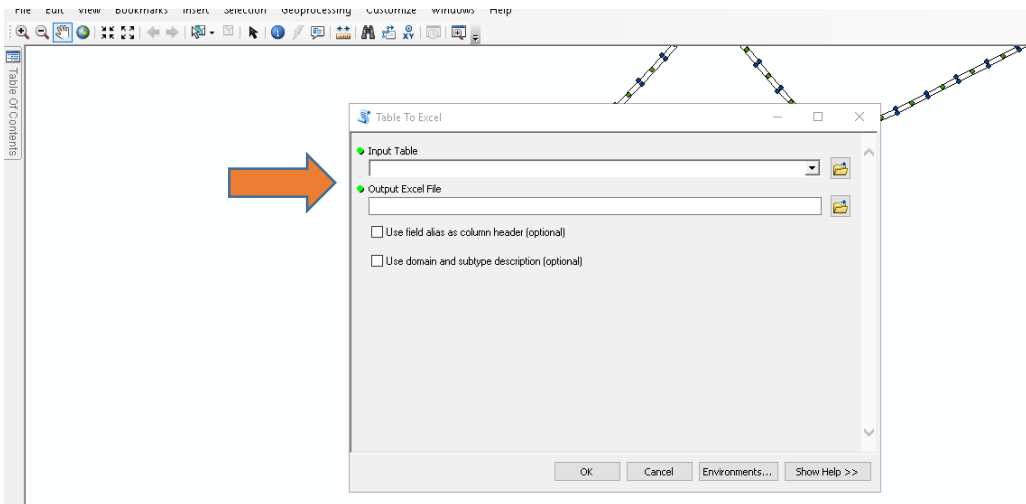
Seleccionar el nuevo Shape creado, abrir la tabla de atributos de este. En esta se evidencia una nueva columna con el nombre de *RASTERVALU*. Esta columna nos indica la elevación que tiene cada rectángulo y cada receptor discreto

FID	Shape *	FID	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName	Angle	x	y	RASTERVALU
0	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38675.3071121677	417517.187742427	228
1	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38674.0380253898	417515.641967945	228
2	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38672.7689386119	417514.096193462	228
3	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38671.499851834	417512.55041898	228
4	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38670.2307650561	417511.004644498	246
5	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38669.9616782781	417509.458870015	246
6	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38667.6925291502	417507.913085533	246
7	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38666.4235047223	417506.387321051	246
8	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38665.1544179444	417504.821546568	246
9	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38663.8853311665	417503.275772086	246
10	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38662.6162443886	417501.729997604	246
11	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38661.3471578107	417500.184223122	246
12	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38660.0780708327	417498.638448639	246
13	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38658.8089840548	417497.092674157	246
14	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38657.5398972769	417495.546899675	238
15	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38656.270810499	417494.001125192	238
16	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38655.0017237211	417492.45535071	238
17	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38653.7326389432	417490.909576228	238
18	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38652.4635501653	417489.363801745	238
19	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38651.1944633873	417487.818027263	238
20	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38649.9253766094	417486.27227781	238
21	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38648.6562898315	417484.72652979	238
22	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38647.3872030536	417483.180786816	238
23	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38646.1181182757	417481.634929334	238
24	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38644.8490294978	417480.089154852	247
25	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38643.5799427199	417478.543380369	247
26	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38642.3108559419	417476.997605887	247
27	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38641.041769164	417475.451831405	247
28	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38639.7726823861	417473.906056923	247
29	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38638.5035956082	417472.36028244	247
30	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38637.2345083303	417470.814507958	247
31	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38635.9654220524	417469.268733476	247
32	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38634.6963352744	417467.722958983	247
33	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38633.4272484965	417466.177184511	247
34	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38632.1581617186	417464.631410029	247
35	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38630.8890749407	417463.085635546	247
36	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38629.6199881628	417461.539861064	247
37	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38628.3509013849	417459.994086582	247
38	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38627.081814607	417458.4483121	235
39	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38625.812727829	417456.902537617	235
40	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38624.5436410511	417455.356763135	235
41	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38623.2745542732	417453.810988653	235
42	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38622.0054674953	417452.26521417	235
43	Point	0	Insert	ES2_HIERROS	6	Continuous	0	35	H200	230.613873	38620.7363807174	417450.719438688	241

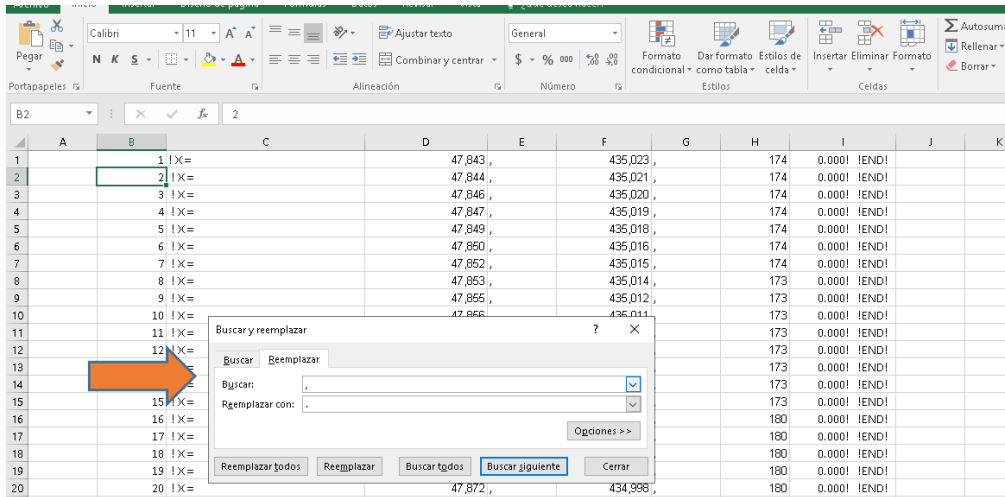
Utilizar la herramienta *Table to Excel*. Seleccionar el Shape a exportar y definir la carpeta donde se guardará el archivo de salida.

En este caso se utilizarán los Shapes que contienen:

- Las coordenadas de cada vértice de los rectángulos
- Las elevaciones del punto central de cada rectángulo
- El Shape que contiene las coordenadas y la elevación de los receptores discretos.



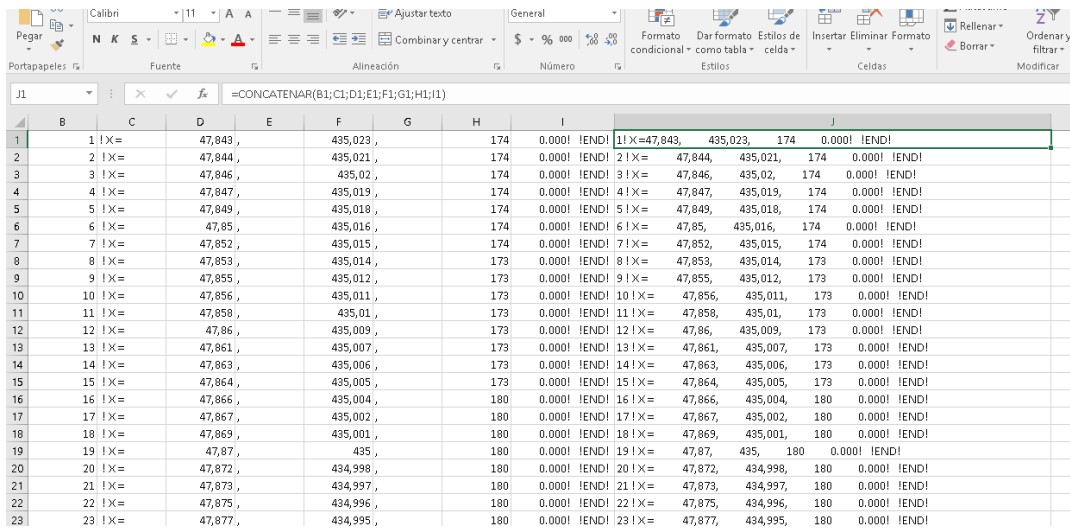
Ajustar información contenida en las tablas de Excel en donde se deberá cambiar las “,” asociadas a las coordenadas de los Shapes anteriormente descritos por “.” Ya que Calpuff solo reconoce valores con “.”



Utilizar la herramienta *Concatenar* para fijar el formato definido en la guía de modelación de Calpuff.

Utilizarla en las tablas que:

- Contiene las coordenadas de cada vértice de los rectángulos
- Las elevaciones del punto central de cada rectángulo
- Contiene las coordenadas y la elevación de los receptores discretos.



Basarse en la Guía de modelación de Calpuff para programar el archivo. INP según las exigencias y objetivos del investigador sin obviar cada parámetro desde el inicio hasta el final.

Dentro de los segmentos que se deben tener en cuenta se destacan los siguientes para evitar errores en la ejecución del programa.


Ingresar el nombre EXACTO de los datos meteorológicos (archivos *.PFL* y *.SFC*)

```

----- Run title (3 lines) -----
                CALPUFF MODEL CONTROL FILE
-----

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names

-----
Default Name  Type      File Name
-----
CALMET.DAT   input    * METDAT = CALMET.DAT *
or
ISCMET.DAT   input    * ISCDAT = *
or
PLMMET.DAT   input    * PLMDAT = *
or
PROFILE.DAT  input    ! PRFDAT = CALENTURITAS-2017.PFL !
SURFACE.DAT  input    ! SFCDAT = CALENTURITAS-2017.SFC !
RESTARTB.DAT input    * RSTARTB= *
-----
CALPUFF.LST  output   ! PUFST =METCALENTURITAS.LST !
CONC.DAT     output   ! CONDAT =METCALENTURITAS.DAT !
  
```



Nombrar los archivos de salida para identificarlos fácilmente. El archivo *.DAT* se utilizará para el post procesador *CALPOST* y el archivo *.LST* expondrá los posibles errores que se presente en la ejecución del modelo.


```

----- Run title (3 lines) -----
                CALPUFF MODEL CONTROL FILE
-----

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names

-----
Default Name  Type      File Name
-----
CALMET.DAT   input    * METDAT = CALMET.DAT *
or
ISCMET.DAT   input    * ISCDAT = *
or
PLMMET.DAT   input    * PLMDAT = *
or
PROFILE.DAT  input    ! PRFDAT = CALENTURITAS-2017.PFL !
SURFACE.DAT  input    ! SFCDAT = CALENTURITAS-2017.SFC !
RESTARTB.DAT input    * RSTARTB= *
-----
CALPUFF.LST  output   ! PUFST =METCALENTURITAS.LST !
CONC.DAT     output   ! CONDAT =METCALENTURITAS.DAT !
DFLX.DAT     output   * DFDAT = *
WFLX.DAT     output   * WFDAT = *

VISB.DAT     output   * VISDAT = *
TK2D.DAT     output   * T2DDAT = *
RHO2D.DAT    output   * RHODAT = *
RESTARTE.DAT output   * RSTARTE= *
  
```



Escribir el año correspondiente a la medición de los datos meteorológicos y la cantidad de horas que se desee modelar.

```

calpuff: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Default Name Type File Name
-----
none input * METDAT= * *END*

-----

INPUT GROUP: 1 -- General run control parameters
-----

Option to run all periods found
in the met. file (METRUN) Default: 0 ! METRUN = 0 !

METRUN = 0 - Run period explicitly defined below
METRUN = 1 - Run all periods in met. file

Starting date: Year (IBYR) -- No default ! IBYR = 2017 !
(used only if Month (IBMO) -- No default ! IBMO = 1 !
METRUN = 0) Day (IBDY) -- No default ! IDBY = 1 !
Hour (IBHR) -- No default ! IBHR = 1 !

Base time zone (XBTZ) -- No default ! XBTZ = 6.0 !
PST = 8., MST = 7.
CST = 6., EST = 5.

Length of run (hours) (IRLG) -- No default ! IRLG = 8760 !

Number of chemical species (NSPEC)
Default: 5 ! NSPEC = 1 !

Number of chemical species
to be emitted (NSE) Default: 3 ! NSE = 1 !

Flag to stop run after

```

En el Subgrupo 14a definir el número de rectángulos y la unidad en la cual se ingresará la concentración del factor de emisión

```

calpuff: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INPUT GROUPS: 14a, 14b, 14c, 14d -- Area source parameters
-----

Subgroup (14a)
-----

Number of polygon area sources with
parameters specified below (NAR1) No default ! NAR1 = 167 !

Units used for area source
emissions below (IARU) Default: 1 ! IARU = 1 !
1 = g/m**2/s
2 = kg/m**2/hr
3 = lb/m**2/hr
4 = tons/m**2/yr
5 = Odour Unit * m/s (vol. flux/m**2 of odour compound)
6 = Odour Unit * m/min
7 = metric tons/m**2/yr

Number of source-species
combinations with variable
emissions scaling factors
provided below in (14d) (NSAR1) Default: 0 ! NSAR1 = 0 !

Number of buoyant polygon area sources
with variable location and emission
parameters (NAR2) No default ! NAR2 = 0 !
(If NAR2 > 0, ALL parameter data for
these sources are read from the file: BAEMARB.DAT)

```

Después de haber introducido el factor de emisión, la sigma Z, el efecto de altura en la tabla y la elevación de cada polígono utilizar la herramienta *Concatenar* para ajustar adecuadamente el formato. Copiar y pegar los valores previamente ajustados.

calpuff: Bloc de notas  
 Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Subgroup (14b)

AREA SOURCE: CONSTANT DATA<sup>a</sup>

Source No.	Effect. Height (m)	Base Elevation (m)	Initial Sigma z (m)	Emission Rates <sup>b</sup>
1	! SRCNAM = EXT1 !			
1	! X= 0.00,	227.885,	4.00,	0.00425 ! !END!
2	! SRCNAM = EXT2 !			
2	! X= 0.00,	220.614,	4.00,	0.00425 ! !END!
3	! SRCNAM = EXT3 !			
3	! X= 0.00,	227.885,	4.00,	0.00425 ! !END!
4	! SRCNAM = EXT4 !			
4	! X= 0.00,	220.614,	4.00,	0.00425 ! !END!
5	! SRCNAM = EXT5 !			
5	! X= 0.00,	232.486,	4.00,	0.00425 ! !END!
6	! SRCNAM = EXT6 !			
6	! X= 0.00,	231.178,	4.00,	0.00425 ! !END!
7	! SRCNAM = EXT7 !			
7	! X= 0.00,	238.016,	4.00,	0.00425 ! !END!
8	! SRCNAM = EXT8 !			
8	! X= 0.00,	242.516,	4.00,	0.00425 ! !END!
9	! SRCNAM = EXT9 !			
9	! X= 0.00,	236.299,	4.00,	0.00425 ! !END!
10	! SRCNAM = EXT10 !			
10	! X= 0.00,	234.456,	4.00,	0.00425 ! !END!
11	! SRCNAM = EXT11 !			
11	! X= 0.00,	234.985,	4.00,	0.00425 ! !END!
12	! SRCNAM = EXT12 !			
12	! X= 0.00,	231.587,	4.00,	0.00425 ! !END!

En el Subgrupo 14c introducir los valores obtenidos de la tabla de Excel previamente ajustada, en la que se contienen las coordenadas de cada vértice de los rectángulos.

calpuff: Bloc de notas  
 Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Subgroup (14c)

COORDINATES (km) FOR EACH VERTEX(4) OF EACH POLYGON

Source No.	Ordered list of X followed by list of Y, grouped by source <sup>a</sup>
1	! SRCNAM = EXT1 !
1	! XVERT = 29.315, 29.267, 29.265, 29.3131 !
1	! YVERT = 411.34, 411.325, 411.352, 411.3471 ! !END!
2	! SRCNAM = EXT2 !
2	! XVERT = 29.362, 29.316, 29.313, 29.362 !
2	! YVERT = 411.359, 411.341, 411.347, 411.3662 ! !END!
3	! SRCNAM = EXT3 !
3	! XVERT = 29.408, 29.363, 29.36, 29.4053 !
3	! YVERT = 411.347, 411.366, 411.381, 411.363 ! !END!
4	! SRCNAM = EXT4 !
4	! XVERT = 29.454, 29.408, 29.405, 29.4514 !
4	! YVERT = 411.402, 411.381, 411.388, 411.4094 ! !END!
5	! SRCNAM = EXT5 !
5	! XVERT = 29.454, 29.408, 29.405, 29.4515 !
5	! YVERT = 411.402, 411.381, 411.388, 411.4095 ! !END!
6	! SRCNAM = EXT6 !
6	! XVERT = 29.545, 29.499, 29.496, 29.5426 !
6	! YVERT = 411.444, 411.423, 411.429, 411.456 ! !END!
7	! SRCNAM = EXT7 !
7	! XVERT = 29.59, 29.545, 29.542, 29.5877 !
7	! YVERT = 411.465, 411.444, 411.45, 411.4717 ! !END!
8	! SRCNAM = EXT8 !
8	! XVERT = 29.636, 29.59, 29.587, 29.6338 !
8	! YVERT = 411.485, 411.465, 411.471, 411.4928 ! !END!
9	! SRCNAM = EXT9 !
9	! XVERT = 29.681, 29.636, 29.633, 29.6789 !
9	! YVERT = 411.506, 411.485, 411.492, 411.5129 ! !END!

En el Subgrupo 17a introducir el número de receptores discretos  
 En el Subgrupo 17b se agregan los datos obtenidos (elevación, coordenadas) y ajustados de los receptores discretos.

calpuff: Bloc de notas  
 Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Subgroup (17a) ←

Number of non-gridded receptors (NREC) No default ! NREC = 2503 !  
 IEND!

Subgroup (17b)

NON-GRIDDED (DISCRETE) RECEPTOR DATA<sup>a</sup>

Receptor No.	X Coordinate (km)	Y Coordinate (km)	Ground Elevation (m)	Height Above Ground (m) <sup>b</sup>
1 ! X =	31.745,		411.284,	216
2 ! X =	39.696,		415.195,	216
3 ! X =	31.747,		415.194,	216
4 ! X =	31.747,		415.192,	216
5 ! X =	31.748,		415.19,	216
6 ! X =	31.749,		415.188,	216
7 ! X =	31.75,		415.186,	216
8 ! X =	31.751,		415.185,	213
9 ! X =	31.752,		415.183,	213
10 ! X =	31.753,		415.181,	213
11 ! X =	31.754,		415.179,	213
12 ! X =	31.755,		415.177,	213
13 ! X =	31.755,		415.176,	213
14 ! X =	31.756,		415.174,	207

←

Crear una carpeta que contenga los dos archivos con datos meteorológicos, el ejecutador y el archivo INP.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo PFL	565 KB
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo SFC	1.404 KB
calpuff	16/04/2019 12:51 ...	Archivo INP	378 KB
calpuffl	27/06/2007 11:43 ...	Aplicación	67.594 KB

Dar clic derecho en el ejecutador y seleccionar la opción *ejecutar como administrador*

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo PFL	565 KB
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo SFC	1.404 KB
calpuff	16/04/2019 12:51 ...	Archivo INP	378 KB
calpuffl	27/06/2007 11:43 ...	Aplicación	67.594 KB

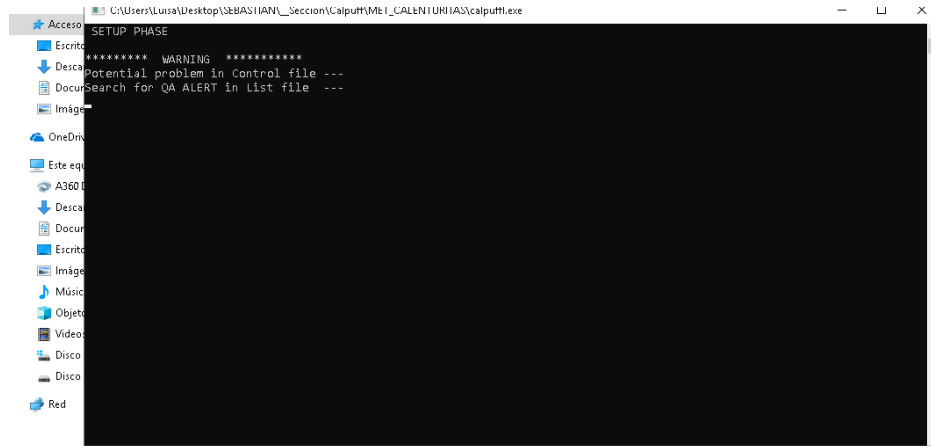
Abrir  
 Enable/Disable Digital Signature Icons  
 Ejecutar como administrador  
 Solucionar problemas de compatibilidad  
 Anclar a Inicio  
 Analizar con ESET NOD32 Antivirus  
 Opciones avanzadas  
 Compartir  
 Dar acceso a  
 Añadir al archivo...  
 Añadir a "calpuffl.rar"  
 Añadir y enviar por email...  
 Añadir a "calpuffl.rar" y enviar por email  
 Anclar a la barra de tareas

←



Ejecutar el programa hasta que termine, se advierte que este puede tardar horas e incluso días, dependiendo de la cantidad de horas, receptores discretos y rectángulos que se van a modelar.

Si solo se demora unos segundos, revisar el archivo .LST, en el cual se exponen los errores que contiene el archivo INP.



Una vez se termine de ejecutar, se obtendrán siete archivos nuevos. El archivo .DAT se utilizará más adelante, en el procesador CALPOST.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo PFL	565 KB
CALENTURITAS-2017	14/02/2018 10:12 a...	Archivo SFC	1.404 KB
calpuff	17/04/2019 2:17 p...	Archivo INP	378 KB
calpuffi	27/06/2007 11:43 ...	Aplicación	67.594 KB
luse	17/04/2019 2:19 p...	Archivo CLR	1 KB
metcalenturitas	17/04/2019 2:19 p...	Archivo DAT	707 KB
metcalenturitas	17/04/2019 2:19 p...	Archivo LST	845 KB
qaarea	17/04/2019 2:19 p...	Archivo BNA	25 KB
qagrid	17/04/2019 2:19 p...	Archivo BNA	1 KB
qarecd	17/04/2019 2:19 p...	Archivo DAT	123 KB
qarecg	17/04/2019 2:19 p...	Archivo DAT	61 KB

Crear una carpeta donde se hallen el archivo .INP del Calpost, el ejecutador y el archivo .DAT obtenido del procesamiento de Calpuff.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
calpost	22/03/2019 10:25 ...	Archivo INP	25 KB
calpostl	22/03/2019 10:25 ...	Aplicación	4.441 KB
primertramoreplica1	20/03/2019 6:03 p...	Archivo DAT	104.965 KB

Basarse en la Guía de modelación de Calpuff para programar el archivo .INP según las exigencias y objetivos del investigador sin obviar cada parámetro desde el inicio hasta el final.

Dentro de los segmentos que se deben tener en cuenta se destacan los siguientes para evitar errores en la ejecución del programa.

Ingresar la ruta y el nombre EXACTO del archivo .DAT obtenido después de ejecutar Calpuff

```

calpost: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
META
----- Run title (3 lines) -----
                CALPOST MODEL CONTROL FILE
                -----
INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names
-----
Input Files
-----
File                Default File Name
-----
Conc/Dep Flux File  MODEL.DAT          ! MODDAT =C:\Users\Desktop\calpost\primentraoreplical.dat !
Relative Humidity File VISB.DAT             * VISDAT = *
Background Data File  BACK.DAT            * BACKDAT = *
Transmissometer or   VSRN.DAT            * VSRDAT = *
Nephelometer Data File or
DATSAV Weather Data File or
Prognostic Weather File

Output Files
-----
File                Default File Name
-----
List File           CALPOST.LST          ! PSTLST =replica.LST !

Pathname for Timeseries Files (blank) * TSPATH = *
(activate with exclamation points only if
providing NON-BLANK character string)

```

### Nombrar el archivo .LST de salida

```

calpost: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Nephelometer Data File or
DATSAV Weather Data File or
Prognostic Weather File

Output Files
-----
File                Default File Name
-----
List File           CALPOST.LST          ! PSTLST =replica.LST !
Pathname for Timeseries Files (blank) * TSPATH = *
(activate with exclamation points only if
providing NON-BLANK character string)

Pathname for Plot Files (blank) * PLPATH =D:\calpuff2\metaplot.DAT\ *
(activate with exclamation points only if
providing NON-BLANK character string)

User Character String (U) to augment default filenames
(activate with exclamation points only if
providing NON-BLANK character string)

Timeseries          TSERIES_ASPEC_ttHR_CONC_TSUNAM.DAT
Peak Value          PEAKVAL_ASPEC_ttHR_CONC_TSUNAM.DAT
                    * TSUNAM = *

Top Nth Rank Plot   RANK(ALL)_ASPEC_ttHR_CONC_TUNAM.DAT
or                  RANK(ii)_ASPEC_ttHR_CONC_TUNAM.GRD
                    * TUNAM = *

Exceedance Plot     EXCEED_ASPEC_ttHR_CONC_XUNAM.DAT
or                  EXCEED_ASPEC_ttHR_CONC_XUNAM.GRD

```



## Escribir la cantidad de horas que se va a modelar y el año correspondiente a la medición de los datos meteorológicos

```
calpost: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
!END!
-----
INPUT GROUP: 1 -- General run control parameters
-----

Option to run all periods found
in the met. file(s) (METRUN)      Default: 0 ! METRUN = 0 !

    METRUN = 0 - Run period explicitly defined below
    METRUN = 1 - Run all periods in CALPUFF data file(s)

Starting date:  Year (ISYR) -- No default ! ISYR = 2012 !
                Month (ISMO) -- No default ! ISMO = 1 !
                Day (ISDY) -- No default ! ISDY = 1 !
                Hour (ISHR) -- No default ! ISHR = 1 !

Number of hours to process (NHRS) -- No default ! NHRS = 8760 !

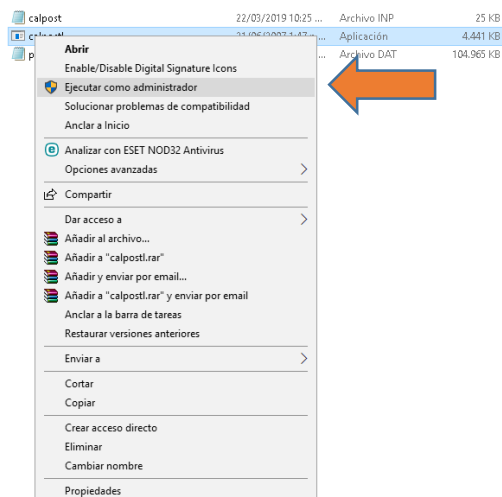
Process every hour of data?(NREP) -- Default: 1 ! NREP = 1 !
(1 = every hour processed,
 2 = every 2nd hour processed,
 5 = every 5th hour processed, etc.)

Species & Concentration/Deposition Information
-----

Species to process (ASPEC)      -- No default ! ASPEC = PM10 !
(ASPEC = VISIB for visibility processing)

Layer/deposition code (ILAYER) -- Default: 1 ! ILAYER = 1 !
'1' for CALPUFF concentrations,
'-1' for dry deposition fluxes,
'-2' for wet deposition fluxes,
'-3' for wet+dry deposition fluxes.
```

## Dar clic derecho en el ejecutador y seleccionar la opción *Ejecutar como administrador*



El procesamiento en este caso es corto, dura algunos segundos y el resultante es un archivo. LST

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
calpost	22/03/2019 10:25 ...	Archivo INP	25 KB
calpostl	21/06/2007 1:47 p...	Aplicación	4.441 KB
primertramoreplica1	20/03/2019 4:38 p...	Archivo DAT	104.965 KB
REPLICA	17/03/2019 10:25 ...	Archivo LST	69 KB

Este archivo. LST genera los datos necesarios para la realización de las isopletas.

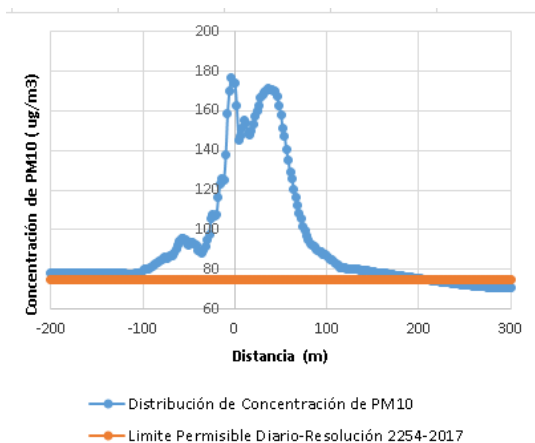
Los datos obtenidos se exportan y se ajustan a tablas en Excel

RECEPTOR	COORDINATES (km)		1 RANK
1, 1	24.766	411.828	4.1791E+02 (2012,079,0000)
1, 2	24.766	412.828	4.2924E+02 (2012,079,0000)
1, 3	24.766	413.828	4.3669E+02 (2012,079,0000)
1, 4	24.766	414.828	4.3899E+02 (2012,079,0000)
1, 5	24.766	415.828	4.3578E+02 (2012,079,0000)
1, 6	24.766	416.828	4.2700E+02 (2012,079,0000)
1, 7	24.766	417.828	4.1352E+02 (2012,079,0000)
1, 8	24.766	418.828	3.9520E+02 (2012,079,0000)
1, 9	24.766	419.828	3.7219E+02 (2012,079,0000)
1, 10	24.766	420.828	3.5138E+02 (2012,079,0000)
1, 11	24.766	421.828	3.3169E+02 (2012,079,0000)
1, 12	24.766	422.828	3.1917E+02 (2012,230,0000)
1, 13	24.766	423.828	3.5678E+02 (2012,230,0000)
1, 14	24.766	424.828	3.9854E+02 (2012,230,0000)
1, 15	24.766	425.828	4.0592E+02 (2012,230,0000)
1, 16	24.766	426.828	3.8300E+02 (2012,230,0000)
1, 17	24.766	427.828	3.5206E+02 (2012,230,0000)
1, 18	24.766	428.828	3.2082E+02 (2012,230,0000)
1, 19	24.766	429.828	2.9296E+02 (2012,230,0000)
1, 20	24.766	430.828	2.6915E+02 (2012,230,0000)
1, 21	24.766	431.828	2.4863E+02 (2012,230,0000)
1, 22	24.766	432.828	2.3064E+02 (2012,230,0000)
1, 23	24.766	433.828	2.1477E+02 (2012,230,0000)
1, 24	24.766	434.828	2.0054E+02 (2012,230,0000)
1, 25	24.766	435.828	1.8770E+02 (2012,230,0000)
1, 26	24.766	436.828	1.7601E+02 (2012,230,0000)
1, 27	24.766	437.828	1.6518E+02 (2012,230,0000)
1, 28	24.766	438.828	1.5536E+02 (2012,230,0000)
1, 29	24.766	439.828	1.4616E+02 (2012,230,0000)
1, 30	24.766	440.828	1.3762E+02 (2012,230,0000)
1, 31	24.766	441.828	1.2965E+02 (2012,230,0000)
1, 32	24.766	442.828	1.2326E+02 (2012,105,0000)
1, 33	24.766	443.828	1.1894E+02 (2012,105,0000)
1, 34	24.766	444.828	1.1481E+02 (2012,105,0000)

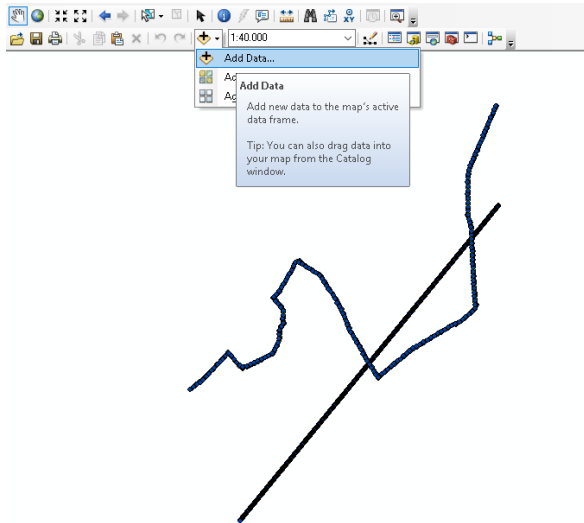
  

	A	B	C	D
1	Coordenadas		pm10 anual	
2	e	n		
3	24766	411828	4,18E+02	
4	24766	412828	4,29E+02	
5	24766	413828	4,37E+02	
6	24766	414828	4,39E+02	
7	24766	415828	4,36E+02	
8	24766	416828	4,27E+02	
9	24766	417828	4,14E+02	
10	24766	418828	3,95E+02	
11	24766	419828	3,72E+02	
12	24766	420828	3,51E+02	
13	24766	421828	3,32E+02	
14	24766	422828	3,19E+02	
15	24766	423828	3,57E+02	
16	24766	424828	3,99E+02	
17	24766	425828	4,06E+02	
18	24766	426828	3,84E+02	
19	24766	427828	3,52E+02	
20	24766	428828	3,21E+02	
21	24766	429828	2,93E+02	
22	24766	430828	2,69E+02	
23	24766	431828	2,49E+02	

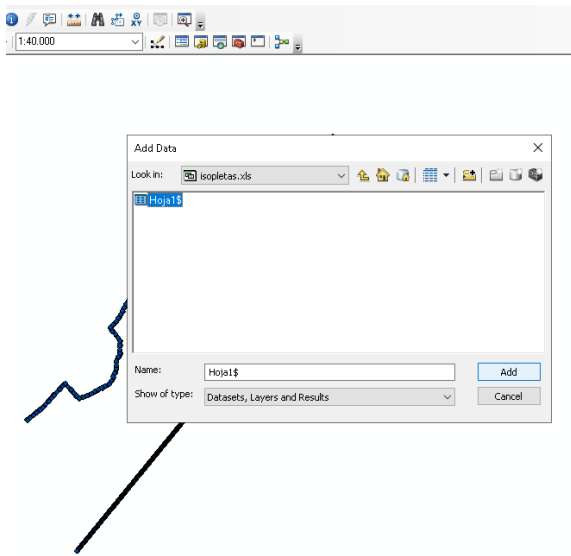
Ordenar por columnas los datos obtenidos, posteriormente asociar cada valor de concentración de su pertinente receptor a una distancia de la vía; es decir, cada receptor tiene que estar a determinada distancia de la vía. Comparar con la normatividad aplicable y calcular el área de influencia



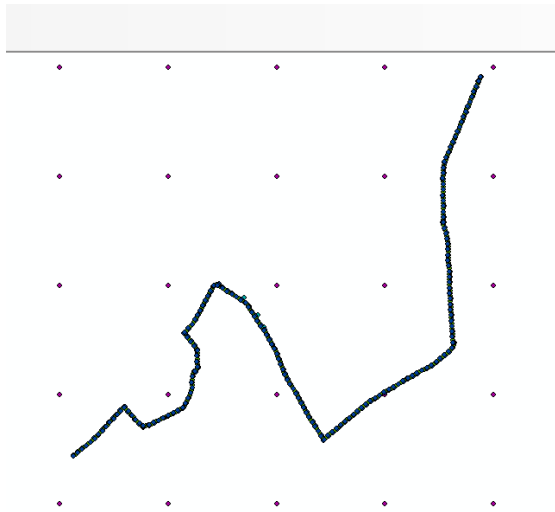
Seguidamente se exportan los valores obtenidos de Calpost a ArcGis. Utilizar la herramienta *Add Data*



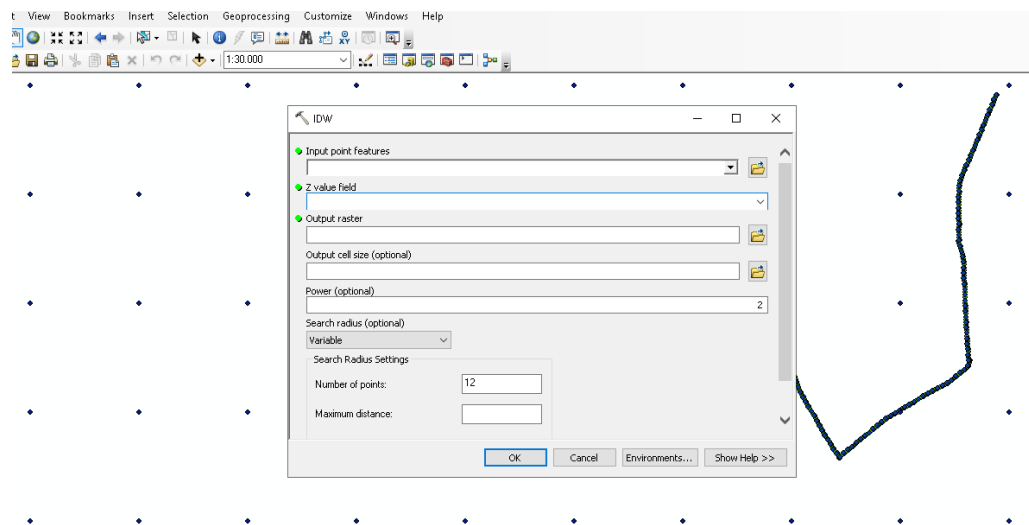
Seleccionar el archivo Excel y añadir



Activar la capa en la tabla de contenido. Se desplegará cada punto en la grilla



Utilizar la herramienta *IDW* o *KRIGING (Spatial Analyst)* y llenar los campos correspondientes



Ejecutarla, y se obtendrá el siguiente resultado.

La variación del color indica la dispersión de la concentración del PM10 en la zona de estudio, realizar los demás ajustes de edición.

