



DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LA ZONA URBANA DE LETICIA, AMAZONAS

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 24 de octubre de 2018

DISEÑO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA LA ZONA URBANA DE LETICIA, AMAZONAS

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Línea de Investigación:
Gestión ambiental

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del
aire para la zona urbana de leticia, amazonas

LAURA XIMENA SUAREZ PATIÑO

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

*A mis padres por ser el pilar fundamental para nuestra formación como
personas. A mi compañero de vida por ser la inspiración y un apoyo incondicional en el desarrollo de
este proyecto y la finalización de mis estudios.*

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mi director de proyecto ingeniero David Beltrán por orientarme en la elaboración de esta investigación, al profesor Keneth Ochoa por la ayuda brindada para enfocar el Proyecto y finalmente a mis padres que me han apoyado y me dieron todos los medios para que lograra culminar con este proceso educativo.

Tabla de contenido

1. Introducción	10
2. Planteamiento del problema	11
3. Objetivos	12
3.1 General	12
3.2 Específicos.....	12
4. Justificación.....	13
5. Marco de referencia	14
5.1 Marco geográfico	14
5.2 Estado de arte	15
5.3 Marco teórico	17
5.1 Marco conceptual	18
5.2 Marco normativo	19
5.3 Marco Institucional.....	21
6. Metodología.....	22
6.1 Diseño metodológico.....	22
6.1.1 Enfoque	22
6.1.2 Alcance.....	22
6.1.3 Método	23
6.1.4 Técnicas e instrumentos.....	23
6.2 Procedimiento.....	24
7. Cronograma y Presupuesto	27
8. Resultados, análisis y discusión de resultados	28
8.1 Condiciones meteorológicas y topográficas.....	28
8.1.1 Temperatura	28
8.1.2 Precipitación.....	29
8.1.3 Humedad relativa	31
8.1.4 Rosa de vientos	32
8.1.5 Topografía.....	34
8.2 Usos del suelo.....	35
8.3 Fuentes emisoras	39
8.3.1 Identificación de fuentes fijas	39
8.3.2 Identificación de fuentes Móviles.....	41
8.3.3 Inventario de emisiones	43

8.4	Tipo de sistema de vigilancia	44
8.5	Estaciones de monitoreo.....	45
8.6	Aseguramiento de la calidad	50
8.7	Socialización y divulgación de la información	52
8.8	Costos	56
9.	Conclusiones	58
10.	Recomendaciones	59
11.	Bibliografía	60
12.	Anexos.....	62

Listado de tablas

Tabla 1.	Normatividad Colombiana	19
Tabla 2.	Matriz metodológica	23
Tabla 3.	Cronograma de actividades.....	27

Tabla 4. Presupuesto	28
Tabla 5 Emisiones de PM ₁₀ de los sectores industriales de Yumbo-cali	41
Tabla 6 Inventario de emisiones	44
Tabla 7 Características del sistema de vigilancia	45
Tabla 8 Características generales de las estaciones de monitoreo	47
Tabla 9 Formato de reporte sobre el estado de la Calidad del Aire	53
Tabla 10. Descripción general del Índice de Calidad del Aire	56
Tabla 11. Costos de equipos	57
Tabla 12 Costos Recursos Humanos	57
Tabla 13 Costos Análisis de muestras	58

Listado de figuras

Figura 1 Estaciones registradas en el SISAIRE en la jurisdicción de Corpoamazonia	12
Figura 2 División política del Amazonas	14
Figura 3. Imagen satelital Leticia Amazonas	15
Figura 4 Organigrama	22
Figura 5. Procedimiento	25
Figura 6. Temperatura mensual Leticia 2013-2017	29
Figura 7. Precipitación anual Leticia 2013-2017	30
Figura 8. Precipitación mensual Leticia 2013-2017	30
Figura 9 Humedad relativa 2013-2017	31
Figura 10. Rosa de vientos 2013 al 2017	32
Figura 11. Rosa de vientos diurna y nocturna 2013 al 2017	33
Figura 12. Rosa de vientos mensual	33
Figura 13. Mapa topográfico de Leticia	34
Figura 14. Regímenes de flujo perpendicular en cañones urbano	35
Figura 15. Uso del suelo, falso color	36
Figura 16. Uso del suelo, infrarrojo	37
Figura 17. Uso del suelo, agricultura	38
Figura 18 Fuentes Fijas	40
Figura 19 Estado de las vías de Leticia	42
Figura 20. Fuentes Móviles	43
Figura 21 Ubicación estaciones de monitoreo	46
Figura 22. High volume air sampler	48
Figura 23 termohigrómetro	49
Figura 24 Barómetro aneroide	50
Figura 25 Anemómetro veleta	50
Figura 26. Aseguramiento de la calidad del sistema de vigilancia	52
Figura 27. Formula gases ideales y relaciones	55
Figura 28 Formula de corrección de concentraciones	55

Resumen

La calidad del aire es una problemática que actualmente compete a todas las poblaciones del mundo. En Colombia se han establecido diferentes normativas afines a este tema, donde se expone la necesidad de

implementar sistemas de vigilancia de la calidad del aire en todo municipio que supere los 50 mil habitantes o que posea una problemática ambiental puntual referente al tema del aire.

Debido a la falta de información existente por parte de los diferentes entes tanto públicos como privados, sobre la calidad del aire y sus posibles afectaciones en la región de la Amazonia Colombiana, este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de vigilancia de la calidad del aire para la zona urbana de Leticia, Amazonas, con el fin de fortalecer los sistemas de información de la calidad del aire en la región, proporcionando herramientas que contribuyan a la generación de información referente a este tema.

El sistema de vigilancia que se implementó para dar cumplimiento con este propósito fue el de Tipo 1 indicativo y siguiendo las pautas establecidas por el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire se establecieron 3 estaciones de monitoreo en el área urbana de Leticia, donde se tuvo en cuenta las condiciones meteorológicas, topográficas y las fuentes emisoras de material particulado y se establecieron todos los aspectos técnicos relevantes dentro del sistema de vigilancia.

Palabras clave: sistema vigilancia, calidad del aire, fuentes emisoras, estaciones de monitoreo.

Abstract

Air quality is a problem that currently competes with all the populations of the world. In Colombia, different normative norms have been established on this subject, where the need to implement air quality surveillance systems throughout the municipality exceeding 50 million inhabitants with a specific environmental problem referring to the issue of air is exposed.

Owing to the lack of information for the part of different entities, both public and private, on air quality and its possible effects in the Colombian Amazon region, this work aims to design a system to monitor air quality for the urban area of Leticia, Amazonas, in order to strengthen air quality information systems, providing tools that contribute to the generation of information regarding this topic.

The air quality monitoring system that is implemented to accomplish this purpose was the type 1 indicative, and following the indications established for the protocol for the monitoring of air quality, three monitoring stations were established in the urban area of Leticia, where the meteorological, topographical and emission conditions of particulate matter were taken into account, and all relevant technical aspects were established within the AQMS.

Key words: monitoring network, air quality, emission sources, monitoring stations

1. Introducción

La presente investigación se basa en la ausencia de un sistema de vigilancia y monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Leticia ubicada en la región de la Amazonia Colombiana. Esta consiste en realizar

una investigación sobre todas las variables que puede influir en la calidad del aire y su correcto monitoreo, por lo que se toma como base toda la información meteorológica y topográfica disponible para determinar los puntos más confiables para establecer las estaciones que realizarán el control constante del PM₁₀, uno de los contaminantes criterio, según lo establecido por la Res 2254/2017 MADS. La determinación del tipo de sistema de vigilancia a implementar en la ciudad de Leticia se realizó, tomando como referencia el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Calidad del Aire, estipulado por MADS, donde hace hincapié sobre los parámetros a tener en cuenta para determinar el tipo de red que mejor se adapta a las condiciones del municipio.

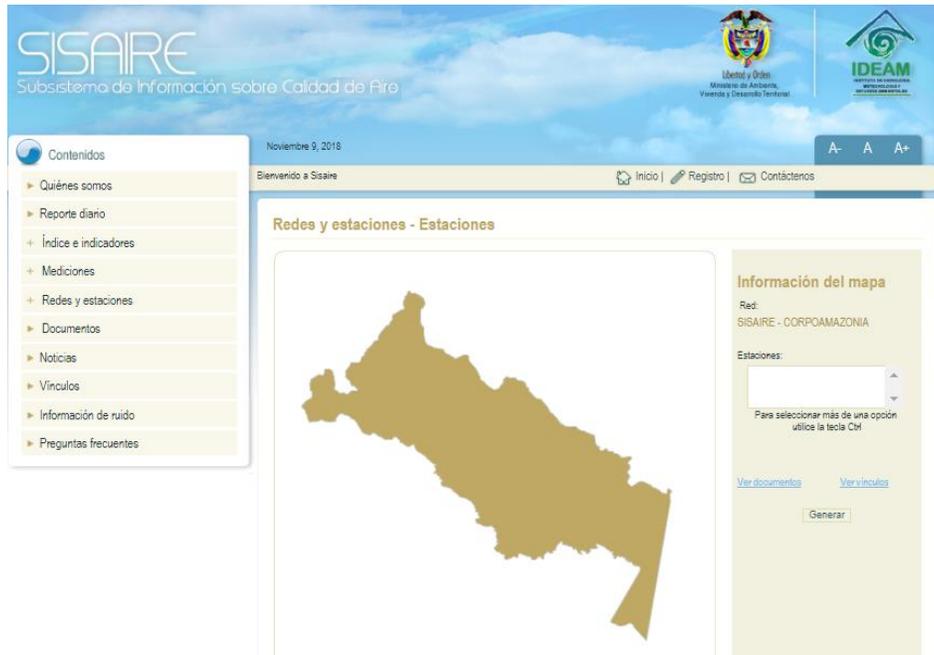
Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo Diseñar un sistema de vigilancia de la calidad del aire para la zona urbana de Leticia, Amazonas. Todo eso con el fin de aportar sobre futuras investigaciones que podrían abordar la incidencia de la contaminación atmosférica en la biodiversidad de la selva amazónica y en la población del área en cuestión, así como de políticas públicas y posiblemente nuevas normatividades referentes a la contaminación del aire en el Amazonas.

2. Planteamiento del problema

El Amazonas se ha caracterizado por su alta biodiversidad y capacidad de servir como sumidero de CO₂ y fuente de oxígeno. Sin embargo, por la constante deforestación que se está presentando en este ecosistema, se está viendo un incremento en la contaminación atmosférica. Por medio del proyecto Amazonas 2030 y los resultados de la tercera Encuesta de Percepción generada por Ipsos-Napoleón Franco, se determinó que cada año se destruyen 87.374 hectáreas de cobertura boscosa, que equivale al 46% de la tala en toda Colombia, por lo que el 85% de los habitantes del departamento amazónico presentan una alta preocupación por la tala de los bosques y aproximadamente el 62% por el aumento de la contaminación (Napoleón Franco, 2013). Esta problemática de deforestación deteriora la calidad del aire, ya que en el momento de realizar la tala de árboles todo el dióxido de carbono que ha sido absorbido por los árboles, es liberado a la atmósfera. También, a causa de la remoción de masa vegetativa los suelos se ven erosionados permitiendo que los vientos generen un levantamiento de tierra incrementando la presencia de Material particulado en el aire (Rojas & Ibarra, 2004).

A pesar de que estas preocupaciones son evidentes, la capital del departamento del Amazonas, no posee una gran cantidad de información pública referentes a temas de la calidad del aire, y actualmente no cuenta con un sistema de vigilancia que permita monitorear la contaminación atmosférica. Realizando una revisión al Subsistema de Información sobre la Calidad del Aire (SISAIRE) se puede observar la ausencia de redes o estaciones dentro de toda la jurisdicción de Corpoamazonia tal como se muestra en la Figura 1, al igual que información sobre concentraciones de emisiones de las actividades industriales y comerciales que se llevan a cabo en el municipio.

Figura 1 Estaciones registradas en el SISAIRE en la jurisdicción de Corpoamazonia



Fuente: SISAIRE, 2018

Esta problemática puede ser una consecuencia por la falta de gestión por parte del municipio o los institutos de investigación científica como lo es el SINCHI o la Corporación Autónoma Regional de la Amazonia. Este centro realiza financiaciones a investigaciones principalmente referentes a la fauna y flora presente en La Amazonia debido a la importancia que tiene este ecosistema a nivel mundial. Así mismo han realizado estudios sobre la calidad del agua y su influencia sobre el ecosistema, pero no manifiestan información sobre la calidad del aire presente en los diferentes municipios que componen el Amazonas ya que se esperaría que por la alta biodiversidad este no represente un mayor problema, sin embargo, en la actualidad la mala calidad del aire no es ajena a muchas de las principales ciudades del mundo ya que las áreas urbanas presentan una gran influencia en la contaminación atmosférica por las actividades que se llevan a cabo (DNP, 2008).

3. Objetivos

3.1 General

Diseñar un sistema de vigilancia de la calidad del aire para la zona urbana de Leticia, amazonas

3.2 Específicos

- Identificar las condiciones meteorológicas y topográficas de Leticia que puedan llegar a influir en el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire.
- Determinar las fuentes fijas y fuentes móviles que contribuyen a la contaminación atmosférica de Leticia
- Establecer los puntos claves para la definición de las estaciones de monitoreo, así como sistemas de apoyo y gestión de la información

4. Justificación

La contaminación del aire actualmente es uno de los temas más preocupantes por el incremento en el porcentaje de la morbilidad en ciertos territorios, según la organización mundial de la salud. Las estrategias que se implementan para este factor que afecta a la calidad de vida del ser humano, contienen falencias, ya que muchas veces se toman acciones correctivas mas no preventivas. Por lo anterior, una de las estrategias que puedan aplicar a este problema ambiental y de salud son las redes de monitoreo de calidad del aire, las cuales arrojan mediciones de los contaminantes atmosféricos tanto de los que afectan al ambiente como los que afectan a la salud, que pueden ser mitigados antes de que se generen las correspondientes consecuencias (Landrigan & Fuller, 2015).

Dentro la normativa colombiana, y hablando específicamente de temas asociados a la calidad del aire, la Resolución 2254 del 2017 estipula en el Artículo 2 Parágrafo 3 que las autoridades ambientales competentes deben realizar mediciones de los contaminantes criterio los cuales deberán ser monitoreados según el Protocolo establecido por el MADS. Estos sistemas de vigilancia deben contar con un documento de diseño o rediseño y de operación según el artículo 5 de la misma Resolución.

Leticia a pesar de ser un municipio con una población bastante baja, la cual no supera el límite mínimo establecido por el protocolo para implementar un sistema de vigilancia de la calidad del aire, es una zona de gran importancia tanto comercial, como social principalmente del municipio vecino Tabatinga de Brasil . Estas dos ciudades, aunque pertenecientes a dos países diferentes, poseen una estrecha relación convirtiendo a Leticia en una importante ciudad donde confluyen personas de diferentes países incluyendo a Perú por su misma cercanía a este municipio. Esta apreciación genera que Leticia replante su situación y comience a indagar e implementar sistemas que permitan monitorear el estado de la calidad del aire y así salvaguardar la salud de una población que va más allá de un solo territorio.

Según lo descrito en el CONPES 3943 de 2018 “*La información sobre la calidad del aire es un insumo esencial para el diseño, evaluación y ajuste de políticas y estrategias de prevención y control*”, por lo que es necesario trabajar en la optimización de los diseños de las redes existentes o en este caso implementar nuevos sistemas que den como resultado información valiosa de los centros urbanos donde aún no se ha estudiado a profundidad el estado de la calidad del aire. Uno de los lineamientos del CONPES es la información para las decisiones, es allí donde entra en juego esta investigación, la cual se enfocará en el diseño de una red de monitoreo de calidad del aire para el municipio de Leticia, Amazonas (DNP, 2008).

La ciudad de Leticia será el sitio de énfasis de este proyecto debido a que no cuentan con estudios ni estaciones de monitoreo a nivel público, pero además de esto se encuentra situado en una zona de gran importancia económica y social como fue mencionado anteriormente, y además ecológicamente debido a su capacidad de recompensar los impactos gracias a su alta biodiversidad. Por consiguiente, a partir de este sistema de vigilancia se podrán medir los niveles de Material Particulado, de forma periódica, para posteriormente crear políticas que reduzcan paulatinamente los niveles de contaminantes en el aire y así mejorar la calidad de vida de las personas.

Figura 3. Imagen satelital Leticia Amazonas



Fuente: Google Earth 2018

Según el DANE la Eepoblación en el 2015 era de 41.326 Habitantes donde 26.226 habitaban en la cabecera del municipio, teniendo una mayor población en la parte rural del municipio. Leticia al igual que el resto del Amazonas se caracterizar por presentar una temperatura promedio anual homogénea, de aproximadamente 25°C. Su unidad climática es cálido húmedo y super húmedo con un promedio anual entre 3.200 y 3.800 mm, obteniendo una humedad relativa promedio del 80%. Los periodos más lluviosos comprenden los meses de septiembre a mayo y los secos de junio a agosto. (GÓMEZ, 2012)

5.2 Estado de arte

La agencia de protección ambiental de los estados unidos, ha sido a lo largo de la historia uno de los grandes pilares para todo lo referente a la calidad del aire. La normatividad colombiana y por ende todos los estudios realizado en materia de la calidad del aire del país, toman como base el manual para los sistemas de medición del aire titulado “ Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems” (EPA, 1994).

Este documento soporta toda la información necesaria para realizar el seguimiento del estado de la calidad del aire en un sitio determinado y tiene como propósito que el monitoreo no se convierta en simplemente la recopilación de datos, estos deben ser usado para tomar decisiones que contribuyan al mejoramiento de la salud y el bienestar de las personas y el planeta. La EPA busca que se apliquen los principios de calidad y se cree todo un sistema para darle seguimiento a la calidad del aire. Esta guía enfatiza los procesos y fundamentos para un diseño que garantice de calidad como parte integral de la misma (EPA, 1994).

Partiendo del documento anteriormente mencionado se comienzan a realizar estudios en el territorio colombiano sobre el monitoreo de la calidad del aire. Específicamente, en la ciudad de Neiva-Huila, la

ingeniera Serrano (2006) realiza un diseño de la red de evaluación y seguimiento de la calidad del aire para la ciudad, en donde se enmarcan los diferentes aspectos que son relevantes a la hora de plantear este diseño y que sean pertinentes con las situaciones del área de estudio. Dentro de esta investigación se hace hincapié a la importancia no solo de montar una red que realice las mediciones de los contaminantes atmosféricos y variables meteorológica si no a los aspectos técnicos que se deberán tener en cuenta para asegurar el correcto funcionamiento del sistema (Serrano, 2006) .

Dentro de los aspectos técnicos que son mencionados se incluye el fortalecimiento de estos sistemas de forma periódica con el fin de que se mantengan actualizados con respecto a las situaciones que varíen dentro del área de influencia, como por ejemplo la dinámica de crecimiento del municipio o de manera mundial como lo son las tecnologías. Carmen Elena Zapata (2008) demuestra una forma de contribuir con este fortalecimiento tomando como foco de estudio la red de monitoreo del Valle de Aburra. Por medio de medidores pasivos, realizo diferentes mediciones donde obtuvo datos que permitieron realizar correlaciones con las mediciones que se realizaban en ese entonces con la red establecida. Los resultados arrojaron nuevas zonas criticas dentro del valle de aburra, lo que genera un replanteo de la ubicación y numero de estaciones con las que contaba la red de monitoreo. (Zapata, 2008)

Este trabajo muestra la importancia de realizar una investigación más detallada sobre fuentes actuales y posibles fuentes futuras que puedan tener una relevancia en las emisiones del área estudiada, para así asegurarse de que todas las áreas críticas sean monitoreadas. Teniendo en cuenta de que las ciudades con mutables y que se encuentran en un constante crecimiento, es importante realizar evaluaciones periódicas de la red de monitoreo con el fin de asegurarse de que los datos determinados por la red sean relevantes frente a las emisiones que se generan.

El aseguramiento de la confiabilidad y relevancia de los datos también se puede ver beneficiado por los modelos de proximidad espacial, los cuales son implementados específicamente para definir sitios de muestreo de la calidad del aire en zonas urbanas. Un estudio realizado específicamente en la ciudad de Medellín hace uso de este tipo de modelos para medir las concentraciones de material particulado generadas en vías, usos industriales del suelo y zonas verdes. Para el desarrollo del modelo se propone una metodología que utiliza Sistemas de Información Geográfica, procesos de interpolación geoestadísticos y herramientas de análisis espacial. A partir de esto lograron determinar los efectos que tiene la proximidad a fuentes emisoras, las cuales tienden a aumentar la concentración y a fuentes disipadoras, las cuales tienden a disminuir la concentración. Esta información es la principal base para proponer el diseño de una red de vigilancia. (Londoño, Cañón, & Ocampo, 2016)

Esta metodología se podría utilizar en cualquier otra variable que cumpla con el principio de autocorrelación espacial y de la cual se necesite definir una red de sitios de monitoreo: se densifica con un interpolador espacial para caracterizarla espacialmente, se calculan distancias a objetos que afecten su valor por proximidad a ellos, se calcula un factor de proximidad combinado a los objetos, se corrigen por proximidad los mapas de caracterización espacial, se hace un análisis de los mapas obtenidos y se propone la red de sitios de monitoreo.

Esta trazabilidad que se realizan a los sistemas de vigilancia puede ser complementadas por medio del uso de nuevas tecnologías. Un estudio realizado por La Universidad Nacional de Taiwán muestra un ejemplo del fortalecimiento de las redes haciendo uso de los sensores inalámbricos, los cuales son capaces de recopilar y procesar una gran cantidad de datos desde el comienzo de la supervisión y gestionar la calidad del aire, las condiciones del tráfico y las situaciones climáticas. Este estudio realizado

por Jen-Hao Liu (2012) se centra en las emisiones generadas por el tráfico vehicular por lo que realizan el sistema de vigilancia para las emisiones de óxido de carbono. Para obtener con precisión la concentración de CO, realizaron un análisis de regresión lineal en los datos de monitoreo provistos por el monitoreo de la Administración de Protección Ambiental. Para el ejercicio de la calibración, se configuraron 9 nodos junto a los sensores de la EPA, estación de monitoreo en Yonghe en la ciudad de New Taipei y así saber si los resultados obtenidos por los sensores propios poseen similitud con los de la EPA. (Liu, 2012)

Este estudio utiliza tecnologías de redes inalámbricas de sensores para adquirir y registrar datos de monitoreo para el objetivo de la supervisión de la calidad del aire completamente automática los cuales son supervisados por un centro de control almacenando una gran cantidad de datos en la base de datos a través del programa MySQL, de modo que se puedan establecer un modelo de predicción de difusión de la contaminación basado en los datos. Además, para lograr el monitoreo en tiempo real, los datos de concentración de CO de un lugar en particular podrían revisarse desde dispositivos de comunicación móvil, como teléfonos inteligentes y tabletas, o PC disponibles para que todo el público se encuentre enterado de la contaminación actual del lugar donde viven y para ayudar a mantener la calidad del aire bajo control. (Liu, 2012)

5.3 Marco teórico

La Universidad Nacional de Colombia desarrolló una metodología para evaluar la cobertura espacial de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá, la cual se basó en la teoría de la probabilidad mediante el análisis las mediciones de la red entre los años 1997 y 2010 bajo el concepto de información mutua. Con este método se clasifica cada estación de acuerdo con su representatividad dentro de la RMCAB, es decir, en cuanto al grado de semejanza de sus mediciones en relación con las correspondientes a los demás receptores. Esta teoría busca determinar si las mediciones de la red de monitoreo son significativas y reflejar de forma adecuada la calidad del aire general dentro de un área urbana (Molina, 2013).

El uso del método probabilístico de la información mutua anteriormente enunciado, permite determinar la cantidad de información que una estación de una red de monitoreo que comparte con el resto de las estaciones. Para esto se consideran las características y tendencias estadísticas de los datos de las series temporales de concentraciones de contaminantes, en este caso material particulado menor a 10 micrómetros (PM₁₀) y de variables meteorológicas como temperatura ambiente, velocidad del viento, gradiente de temperatura ambiente y radiación solar. Todos estos parámetros son modelados por medio de un modelo gaussiano (Molina, 2013).

Una vez realizado el modelamiento de la red de monitoreo de Bogotá (RMCAB) se determinó que la información mutua no depende de los valores de las concentraciones sino de la variabilidad de los datos en cada uno de los puntos de medición, por lo que si en una estación la variabilidad es alta y sus datos tienen un orden de magnitud similar con las demás estaciones entonces su información mutua será alta (Molina, 2013).

Esta teoría proporciona aproximaciones importantes en el establecimiento de la representatividad espacial de una red de monitoreo, por lo que es una herramienta para evaluar la efectividad de la red de monitoreo que se desea diseñar para el municipio de Leticia ya que la representatividad de los datos del

sistema de vigilancia será relevante dependiendo de la variabilidad que estos presenten, y se puede combinar con la teoría de uso de modelos de dispersión en microescala para evaluar calidad del aire urbano y apoyo a la toma de decisiones para las estrategias de control de la contaminación. Estos modelos Matemático calculan las concentraciones de contaminantes al analizar analíticamente un conjunto simplificado de ecuaciones que describen en detalle el flujo de viento y la dispersión de contaminantes (Vardoulakis, Fisher, Pericleous, & Flesca, 2002). Es necesario tener en cuenta que se requieren una serie de datos considerable para tener una alta confiabilidad, por lo que si se evalúa para un periodo corto el método no arrojará resultados significativos para el diseño de la red (Arellano, 2017).

Si bien la teoría de significancia es de gran importancia para asegurar la eficiencia de la red de monitoreo también lo es la teoría sobre el análisis espacial para llevar a cabo el diseño de la red. Esta teoría se observa en el estudio realizado por su y Larzon (2007), titulado “Modelamiento espacial para el diseño de la red de monitoreo de la contaminación del aire: Ejemplo de humo de leña residencial”.

El propósito del documento es demostrar cómo desarrollar una red de monitoreo de la contaminación del aire, a partir de una caracterización de contrastes espaciales de las concentraciones de contaminación del aire. En general, los resultados muestran que las entradas de datos relativamente simples y el análisis espacial puede ser efectivo para capturar la variabilidad espacial de las emisiones de los contaminantes atmosféricos. Esta investigación sirve como ejemplo de cómo diseñar una red de muestreo para capturar la variabilidad de la contaminación del aire de un área pequeña. A pesar de que estudio es aplicado a la contaminación proveniente de la combustión de madera, esta metodología también se puede usar para diseñar redes que capturan la variabilidad intraurbana del tráfico, fuentes industriales, entre otras (Su & Larson, 2007).

El estudio mencionado con anterioridad se basa principalmente en cómo se realiza el diseño de una red a partir del análisis espacial, que en el caso de esta investigación harán parte esencial del diseño ya que este será el referente para determinar los puntos críticos de las áreas con mayor emisión de contaminantes. La investigación enuncia la calibración anterior y posterior al uso para las respectivas mediciones a la temperatura y humedad correspondiente del sitio, otra parte fundamental que debe ser tomada en cuenta a la hora de diseñar una red de monitoreo (Su & Larson, 2007).

5.1 Marco conceptual

La contaminación se define como cualquier modificación indeseable del ambiente, causada por la introducción a este de agentes físicos, químicos o biológicos en cantidades superiores a las naturales, que resulta nociva para la salud humana, dañar los recursos naturales o altera el equilibrio ecológico (Yassi, 2002). La contaminación atmosférica, entonces, será entendida como la presencia de sólidos, líquidos, o gases en concentraciones nocivas para el ambiente y la salud (FAES, 1985).

El origen de la mayoría de los contaminantes atmosféricos, provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión como las industrias, y de erosión por actividades agrícolas principalmente. Estos contaminantes que provienen directamente de la fuente de emisión se conocen como primarios, los cuales pueden sufrir transformaciones químicas y físicas en el seno de la atmósfera, denominándolos contaminantes secundarios (Ballester, 2005)

La contaminación del aire también se puede clasificar en contaminantes criterio, sustancias que se liberan en grandes cantidades y generan efectos agudos en la salud, y no criterio (Tayler, 2013). Dentro de los

contaminantes criterio se identifican el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado con diámetro menor a 10 µm y 2.5 µm (PM₁₀ y PM_{2.5}) y ozono troposférico (O₃) según lo establecido en la Resolución 2254 de 2017. El PM consiste en la mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire y de una mezcla de características físicas y químicas que varían dependiendo de la actividad que lo genere. Los componentes químicos más comunes que se encuentran presentes en el material particulado son los sulfatos, nitratos, amoníaco y otros iones inorgánicos. En muchas ocasiones componentes alergénicos y microbiológicos son encontrados en el PM (WHO, 2013)

Para la medición de estos contaminantes que se encuentran presentes en la atmosfera es muy común el uso de modelos de dispersión atmosférica, fundamentados en algoritmos matemáticos donde se tienen en cuenta las leyes físicas y químicas. Estos modelos se definen como una representación simplificada de las condiciones reales, está integrado por expresiones matemáticas que posibilitan relacionar las emisiones de los contaminantes con la distribución espaciotemporal de la concentración de los mismos (Mazzeo, S.F).

Según el actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2008), los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire son los encargados de monitorear los diferentes contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas, a partir de estaciones de tipo manual, automático, semiautomático y mixto. Estos sistemas, no se basan simplemente en la recolección de datos, tienen como propósito final proporciona información necesaria para desarrollar políticas y estrategias, establecer objetivos y planificar acciones de control de la contaminación, todo con la finalidad de mitigar los problemas causados por la contaminación (Mazzeo, S.F).

Los sistemas de monitoreo se basan principalmente en la ubicación de diferentes estaciones del área de influencia que midan de manera significativa los contaminantes atmosféricos en este caso. Los tipos de estaciones se clasifican en tránsito, industrial o de fondo, las dos primeras definida por las fuentes de emisiones dominantes que afectan a las concentraciones de la estación. La estación de fondo básicamente es aquella que monitorea los contaminantes que son representativos frente a la exposición promedio de la población en general, es decir que mide la mayor parte de los contaminantes que proviene de diferentes tipos de emisión (Vincent & Stedman, 2013).

5.2 Marco normativo

Para la presente investigación es necesario tener en cuenta las diferentes normas colombianas que se relacionan de alguna medida con el tema de la calidad del aire. Es por esto, que se tiene en cuenta desde la Constitución Política de Colombia hasta las resoluciones emitidas para el manejo prevención y control de la calidad del aire tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Normatividad Colombiana

NORMA	CONTENIDO	APORTE A LA INVESTIGACION
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991	Establece en el Artículo 79 que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.	La constitución será la base fundamental para la toma de decisiones, donde no se podrá violar lo establecido por la misma,

		por lo que toda acción que se tome será en pro de que las personas tengan derecho a gozar de un ambiente sano
LEY 99 DE 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.	Esta ley será la normativa por la cual se rige la necesidad de crear una red de monitoreo ya que se crea los entes encargados de la gestión y conservación del medio ambiente
LEY 9 DE 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias de las emisiones atmosféricas desde el artículo 41 hasta el artículo 49	En esta ley se comienzan a abordar las medidas necesarias en materia de la calidad del aire para cumplir con lo establecido en la constitución política. Ley que contribuye a tomar medidas dentro de las ciudades o municipios que puedan afectar este recurso.
DECRETO 948 DE 1995 (MADS)	Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos <u>33</u> , <u>73</u> , <u>74</u> , <u>75</u> y <u>76</u> del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos <u>41</u> , <u>42</u> , <u>43</u> , <u>44</u> , <u>45</u> , <u>48</u> y <u>49</u> 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.	Este decreto será la primera base para los aspectos técnicos que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de desarrollar el sistema de vigilancia
RESOLUCIÓN 2154 DE 2010(MADS)	“Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”	Esta resolución será el pilar para todo el desarrollo del sistema de vigilancia ya que determina las pautas que deberán ser tenidos en cuenta a la hora del diseño
RESOLUCIÓN 6982 DE 2011(MADS)	Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire	Esta resolución deberá ser tenida en cuenta para cada una de las fuentes fijas y fuentes móviles que estén presentes en el municipio
DECRETO 1076 DE 2015 (MADS)	“Por medio el cual se expide el Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”	Se enuncia las funciones que debe cumplir la autoridad competente y el municipio, donde se estipula que cada uno posee responsabilidades frente al monitoreo de la calidad de la calidad del aire.
NORMA	CONTENIDO	APORTE A LA INVESTIGACION
RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 (MADS)	“Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”	Esta resolución es la normativa vigente donde se regulan los límites permisibles. Que en el caso de los sistemas de vigilancia es el fin último, determinar si las mediciones superan lo establecido por esta resolución.

CONPES 3943 DE 2018 (MADS)	Política para el mejoramiento de la calidad del aire	Servirá como lineamiento para dirigir el enfoque del proyecto y cumplir con lo establecido por la legislación colombiana
PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE (MADS)	Establece los parámetros para el diseño de una red de monitoreo de la calidad del aire	Este diseño será la base metodológica para llevar a cabo el presente proyecto

5.3 Marco Institucional

La propuesta del sistema de vigilancia de la calidad del aire en el municipio de Leticia se verá evaluada por las siguientes entidades:

En primera instancia, el alcalde de Leticia dirige, orienta, coordina y controla la gestión de la administración del municipio para el cumplimiento de las funciones y responsabilidades designadas.

De ahí, la Secretaría de Planeación e Infraestructura está orientada hacia la administración de planificación municipal, la integración de los mecanismos para la gestión del proceso de planeación y la gestión del desarrollo territorial.

Luego la Secretaría de Competitividad, Medio Ambiente y Turismo, promueve el desarrollo económico y empresarial del municipio, mediante el desarrollo de las alianzas estratégicas y la formulación de programas y proyectos de investigación y fomento, todo dentro del respeto y acatamiento de las normas de preservación ambiental.

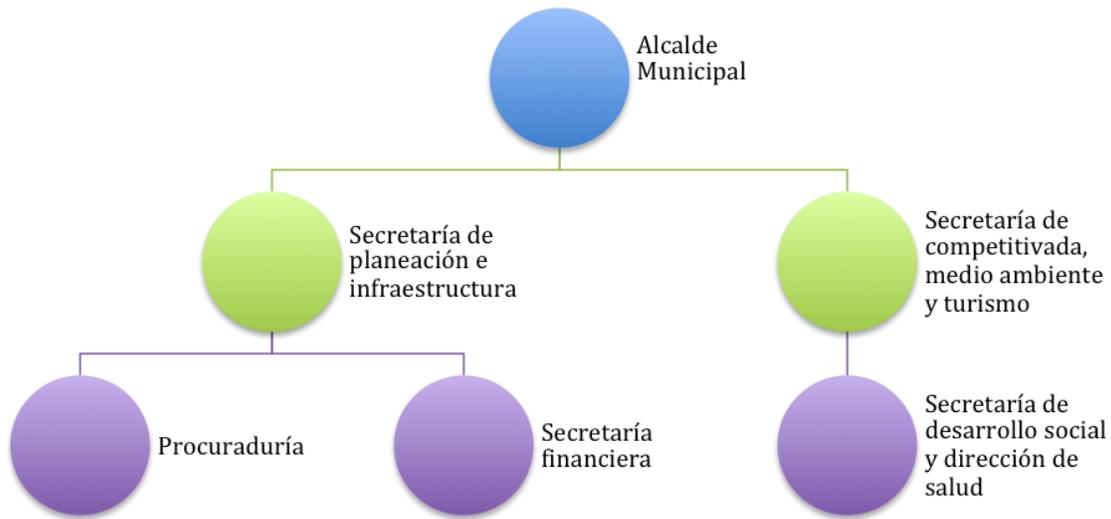
Adicionalmente, la Secretaría Financiera está orientada a formular e implementar políticas y estrategias para la financiación del desarrollo municipal.

Ahora la Procuraduría Regional se encarga de vigilar el cumplimiento de la Constitución y la Ley, promoviendo la protección de los derechos fundamentales, el respeto de los deberes ciudadanos y proteger el patrimonio público.

Por último, la Secretaría de Desarrollo Social y Dirección de Salud, ejecuta estrategias, actividades, programas y proyectos para lograr una mejor calidad de vida de la población asegurando un nivel de salud ajustado a los estándares.

A continuación en la Figura 4 se muestra de forma jerárquica las entidades mencionadas con anterioridad, siendo el alcalde municipal el que mayor poder posee frente a la toma de decisiones en el municipio de Leticia.

Figura 4 Organigrama



Fuente: Elaboración propia, 2018

6. Metodología

6.1 Diseño metodológico

6.1.1 Enfoque

Teniendo en cuenta lo establecido por Sampieri (2014) en su libro “Metodología de la Investigación”, la presente investigación presenta un enfoque de tipo mixto. Esto se debe a que la metodología, se basa en la recolección de datos numéricos y el análisis de características propias del sitio de estudio. Dentro de la parte cuantitativa se evidencian las diferentes condiciones meteorológicas como lo son la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, entre otras variables, las cuales se analizan por medio de diferentes métodos estadístico. En cuanto a la parte cualitativa se realiza un análisis de los usos del suelo clasificándolos por medio de las características topográficas que se evidencian por medio de las diferentes fotografías áreas de la zona urbana de Leticia.

6.1.2 Alcance

Este proyecto se enmarca como primera instancia dentro de un estudio exploratorio, ya que las redes de vigilancia de la calidad del aire se han estudiado alrededor del mundo, en la región del Amazonas es un tema que se ha ignorado y no se ha estudiado, por lo que se puede considerar como un problema que requiere que sea abordado y dar cumplimiento con lo estipulado en la normatividad Colombiana. (Sampieri, 2014)

Además de ser un estudio exploratorio también se considera como un estudio descriptivo, ya que se detallan las diferentes variables meteorológicas y contaminantes atmosféricos. De forma más precisa esta investigación busca Describir fenómenos meteorológicos que puede influir en el diseño de la red de monitoreo y además se tiene en cuenta los contaminantes que deberán de ser medidos por los mismos (Sampieri, 2014).

6.1.3 Método

El método que se va a llevar a cabo para dar solución a los diferentes objetivos es el método inductivo. Se parte de este razonamiento lógico ya que se toman como base parámetros ya establecidos de forma particular sobre la calidad del aire y así llegar a un análisis general del posible comportamiento de la calidad del aire en Leticia (Maya, 2014). Esto se ve específicamente en el tema de las posibles estimaciones de las actividades existentes dentro del municipio donde se toma como referencia los datos de un caso en particular donde se han realizado las mediciones directas por tipo de actividad y ha sido reportado en el SISAIRES

6.1.4 Técnicas e instrumentos

Para el desarrollo del primer objetivo específico de identificar las condiciones meteorológicas y topográficas de Leticia que puedan llegar a influir en el sistema de vigilancia, se utilizarán dos técnicas, la revisión bibliográfica y la observación (Cerdeira, 1991). La primera técnica busca la obtención de la información a partir de informes meteorológicos e informes topográficos donde se encuentren los datos en una serie de tiempo mínimo de cinco años para que los resultados sean significativos, según lo propuesto por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (2010). Los informes meteorológicos serán obtenidos a partir de plataformas meteorológicas donde se encuentran los registros de la estación meteorológica del aeropuerto de Leticia. Para la técnica de observación se quiere determinar las fuentes emisoras de contaminantes, para esto se hará uso de una libreta de anotaciones y planos del municipio de Leticia para registrar lo observado (Ruiz, 2011). Una vez obtenida la información el procesamiento de los datos será realizado por medio de diagramas de cajas, y de barras.

Para el segundo objetivo específico de determinar las fuentes fijas y fuentes móviles que contribuyen a la contaminación atmosférica, también se llevarán a cabo dos técnicas las cuales se basan en la observación secundaria de las densidades de fuentes emisoras por medio de mapas satelitales y la revisión bibliográfica de las concentraciones de los contaminantes emitidos por actividades similares a las identificadas en Leticia. El número de fuentes fijas será determinado por los mapas satelitales al igual que la longitud y ubicación de vías primarias y secundarias. La densidad del tráfico será determinada por medio de la revisión bibliográfica indagando la cantidad de vehículos que se movilizan dentro de la ciudad de Leticia. Todos los datos obtenidos serán registrados en los mapas y libreta de anotaciones respectivamente (Ruiz, 2011).

Por último, para el objetivo de establecer los puntos claves para el establecimiento de las estaciones de monitoreo, se realizará un análisis correlacional de las variables enunciadas en los dos primeros objetivos específicos (Guillen, 2014), para lo cual se hará uso de los sistemas de información geográfica como lo es ARCGIS (Ruiz, 2011), donde se incorporarán todas las variables y allí se determinarán cuáles son los puntos propicios para la ubicación de las diferentes estaciones para el monitoreo de la calidad del aire.

Tabla 2. Matriz metodológica

Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos
------------------	-----------------------	-------------	----------	--------------

Diseñar un sistema de vigilancia de la calidad del aire para la zona urbana de Leticia, Amazonas	Identificar las condiciones meteorológicas y topográficas de Leticia que puedan llegar a influir en el sistema de vigilancia.	Revisar fuentes bibliográficas sobre las condiciones meteorológicas de la ciudad de Leticia	Revisión bibliográfica de las condiciones meteorológicas de la ciudad de Leticia	Plataformas Meteorológicas Estación Aeropuerto Leticia
				Sistema de análisis estadístico: R Studio
		Realizar Observaciones sobre los diferentes usos del suelo y topografía típica de la ciudad de Leticia	Observación por medio de imágenes satelitales los usos de los suelos y la topografía	ARCGIS
	Determinar la ubicación de fuentes fijas y fuentes móviles que contribuyen a la contaminación atmosférica en la zona de Leticia	Realizar observaciones de las posibles fuentes emisoras de contaminantes	Observación secundaria de la ubicación de las fuentes de emisión	Mapas satelitales
		Realizar estimaciones de los contaminantes	Revisión bibliográfica	Inventario de emisiones
	Establecer los puntos claves para la definición de las estaciones de monitoreo, así como sistemas de apoyo y gestión de la información	Analizar las diferentes variables determinadas con anterioridad de forma conjunta	Análisis de las diferentes variables meteorológicas, topográficas y atmosféricas de forma sinérgica	Sistemas de información geográfica
		Definir aspectos Técnicos a tener en cuenta en el sistema de vigilancia	Revisión bibliográfica sobre aspectos técnicos	Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire Manual de diseño.

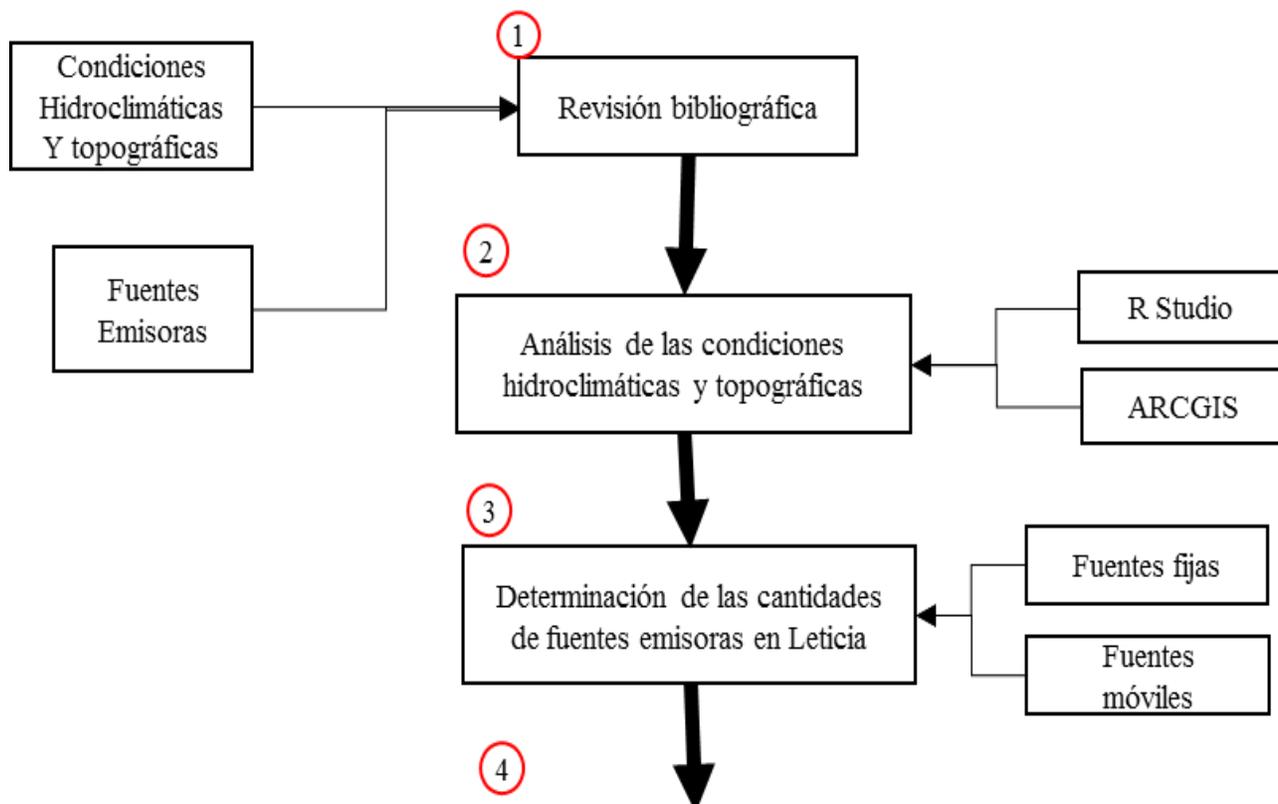
6.2 Procedimiento

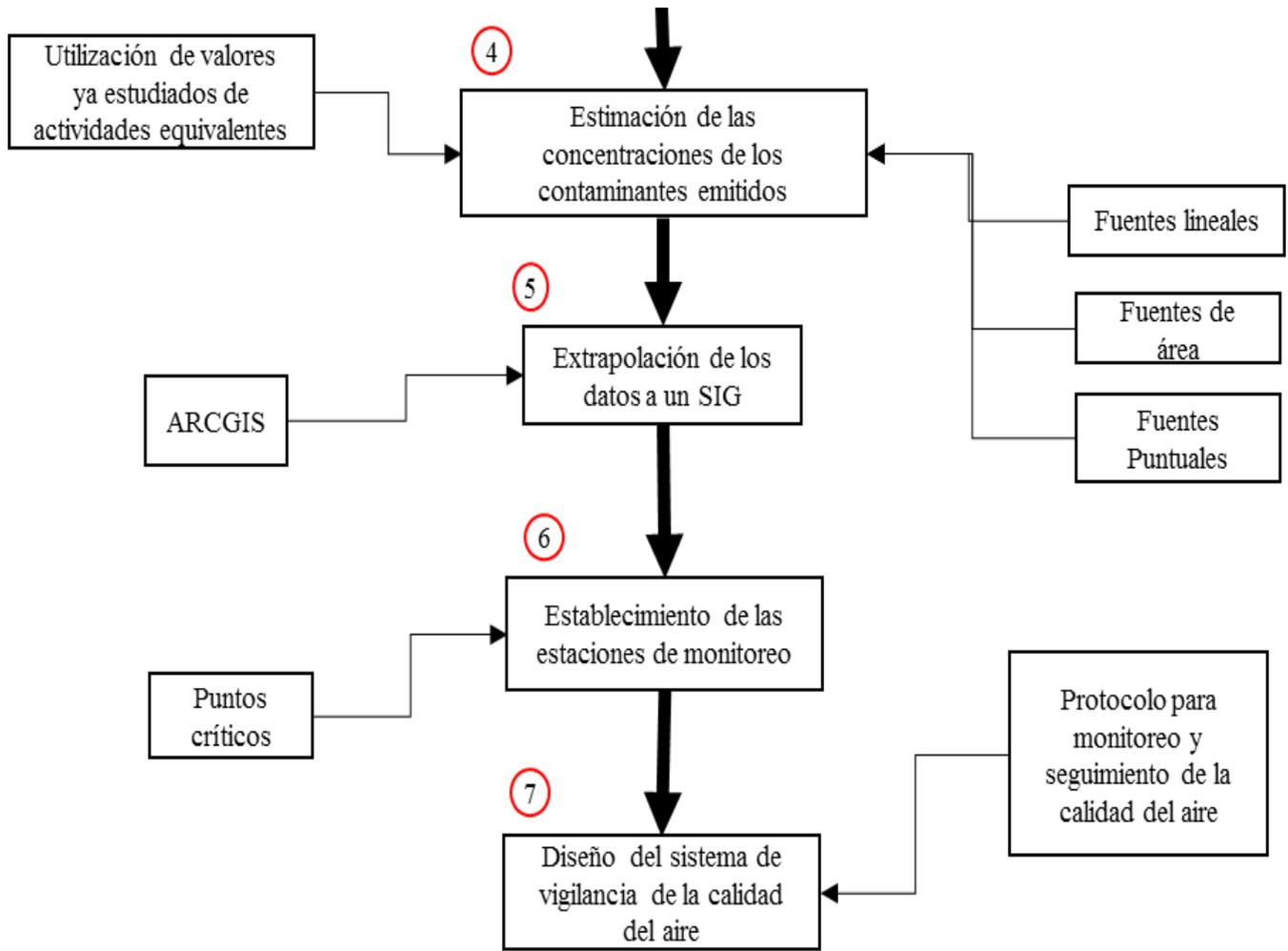
En la Figura 5 se muestra el paso a paso de forma general que se seguirá para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto. Como primera medida se tiene la revisión bibliográfica para determinar las condiciones meteorológicas y topográficas y las posibles fuentes emisoras que contribuyen a la contaminación del aire de Leticia. Posteriormente se realizará el análisis de esa información recolectada por medio de programas estadísticos y de sistemas de información geográfica, las fuentes emisoras se dividen por

fuentes fijas o fuentes móviles según su procedencia y se determinará el número de cada una de estas fuentes por medio de la observación de los mapas satelitales. Una vez se calculada la cantidad de fuentes, se realiza una estimación de las concentraciones, comprando con diferentes estudios donde hayan realizado mediciones de materia particulado en actividades similares a las que se realizan en el municipio de Leticia.

Una vez se ha recopilado toda la información tanto cualitativa como cuantitativa mencionada previamente se procede a establecer un inventario de emisiones general donde se enuncia el tipo de fuente ya sea de área lineal o puntual, la cobertura en ha, km y el número de chimeneas respectivamente y finalmente el total de la estimación de la concentración si se realizó la comparación previamente. Todos los datos serán extrapolados a ARCGIS para poder establecer las estaciones de monitoreo, teniendo en cuenta los puntos críticos que se evidencien dentro del municipio en estudio. Finalmente se establecerán los demás puntos enunciados en el protocolo para el monitoreo de la calidad del aire para culminar con el diseño del sistema de vigilancia

Figura 5. Procedimiento





Fuente: Elaboración propia, 2018

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el presupuesto en pesos colombianos que fue necesario invertir para llevar a cabo y culminar con el presente proyecto. Se muestran los costos por cada ítem necesario y la totalidad de los costos.

Tabla 4. Presupuesto

	CANTIDAD	HORAS	COSTO	TOTAL
INVESTIGADOR	1	200	12.000	\$2.400.000
DIRECTOR	1	50	30.000	\$1.500.000
TOTAL PERSONAL				\$3.900.000
LIBRETA DE CAMPO	1		5.000	\$5.000
MAPAS CARTOGRÁFICOS	3		36.000	\$108.000
TOTAL MATERIALES				\$113.000
SOFTWARE SIG	1		3.610.000	\$3.610.000
SOFTWARE ESTADÍSTICO	1		18.000	\$19.000
TOTAL SOFTWARE	1			\$3.639.000
ARTÍCULOS	12		15.000	\$180.000
LIBROS	2		75.000	\$150.000
TOTAL BASE DE DATOS				\$330.000
TOTAL				\$ 7.982.000 COP

8. Resultados, análisis y discusión de resultados

8.1 Condiciones meteorológicas y topográficas

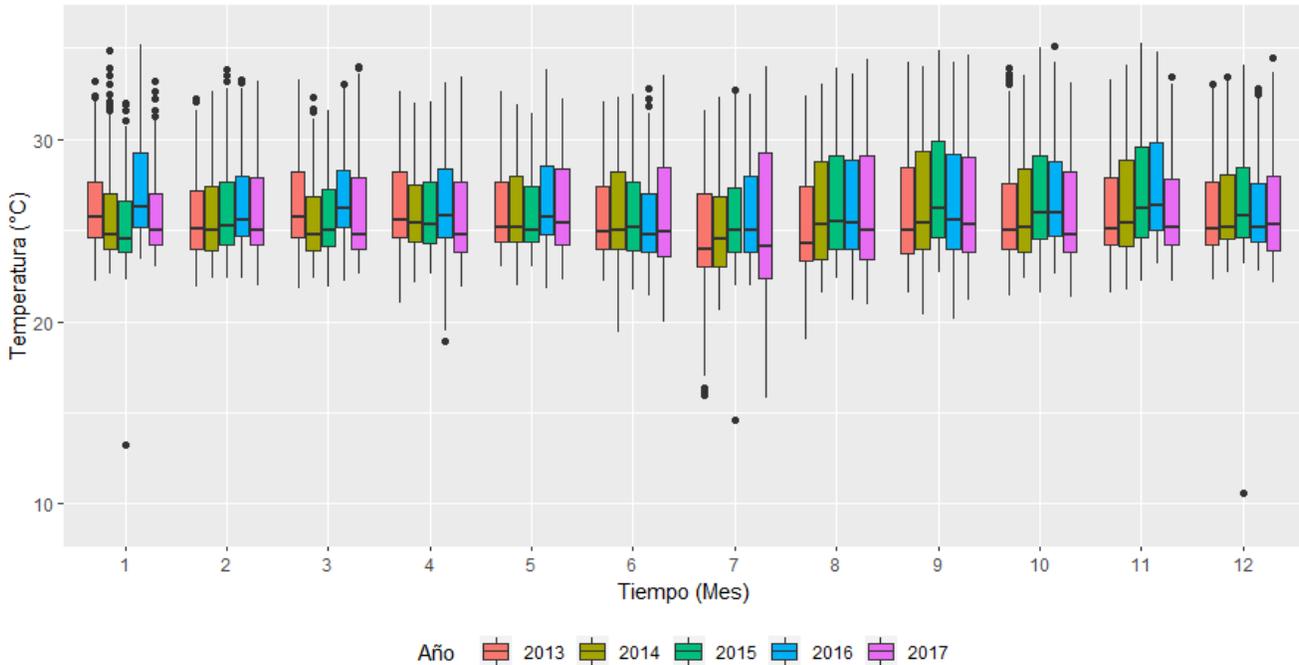
Para la determinación de las condiciones meteorológicas se utilizan los registros meteorológicos de la estación Leticia (Aeropuerto), de los últimos 5 años (2013-2017), teniendo en cuenta las recomendaciones por la US EPA para un análisis confiable de los datos. Estos datos se tomaron de la plataforma RP5.ru, la cual permite descargar datos de estaciones meteorológicas enlazadas a aeropuertos a nivel internacional

Para el análisis y manejo de los datos se hace uso del software estadístico R, tomando las principales variables que influyen en la toma de decisiones a la hora de diseñar el sistema de vigilancia como lo son la temperatura, la precipitación la humedad relativa la dirección del viento y la velocidad del viento (MADS, 2010). Estas dos últimas variables serán representadas por medio de la rosa de vientos multianual y mensual.

8.1.1 Temperatura

Como se muestra en la figura 6 en los últimos 5 años la temperatura de Leticia no presenta una alta variabilidad, el mes donde mayor número de datos atípicos se presentan es en el mes de enero donde la temperatura ha llegado hasta los 35°C. Los rangos de temperatura se encuentran entre los 23°C y 29 °C normalmente con temperaturas promedio entre los 25 y los 26°C. la temperatura más baja que se ha presentado durante la línea de tiempo analizada es de 11°C y la máxima como se mencionó anteriormente es de 35°C.

Figura 6. Temperatura mensual Leticia 2013-2017



Fuente: Elaboración propia, 2018

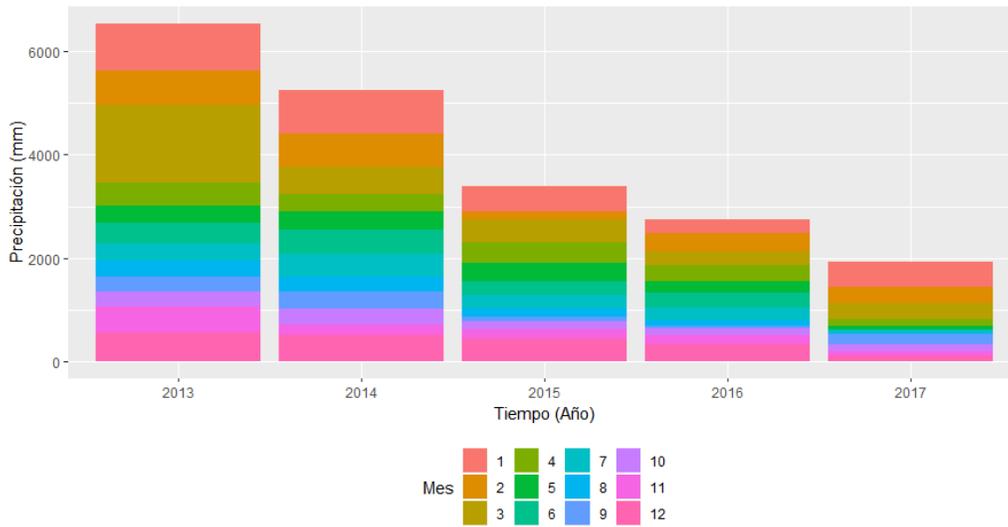
Gracias a la ubicación tropical de Leticia, su cercanía a la línea del Ecuador y a su baja altura con respecto al nivel del mar, hacen que la temperatura se encuentre alrededor de los 26°C, temperatura que deberá ser tomada como referencia posteriormente para la calibración de los equipos. Esta variable meteorológica no solo será representativa para el procedimiento anteriormente mencionado, sino que además determina la altura de capa de mezcla y la estabilidad atmosférica teniendo en cuenta la relación altura vs temperatura. La estabilidad hace referencia a diferentes fenómenos que pueden ocasionar un desbalance en esta capa como los son las condiciones de inversión térmica. Debido a que cuando ocurre este fenómeno las capas de aire más frío quedan posicionadas sobre el suelo, los contaminantes atmosféricos quedan confinados por la falta de circulación de los vientos, incrementando así la probabilidad de poseer un aire más contaminado (Vardoulakis, Fisher, Pericleous, & Flesca, 2002).

Según Vardoulakis y Fisher (2002), la estabilidad atmosférica y la altura de mezcla es parte fundamental para la implementación de los modelos de pluma Gaussianos, donde se muestra el comportamiento de los contaminantes a diferentes alturas y distancias con respecto a la fuente emisora (Vardoulakis, Fisher, Pericleous, & Flesca, 2002).

8.1.2 Precipitación

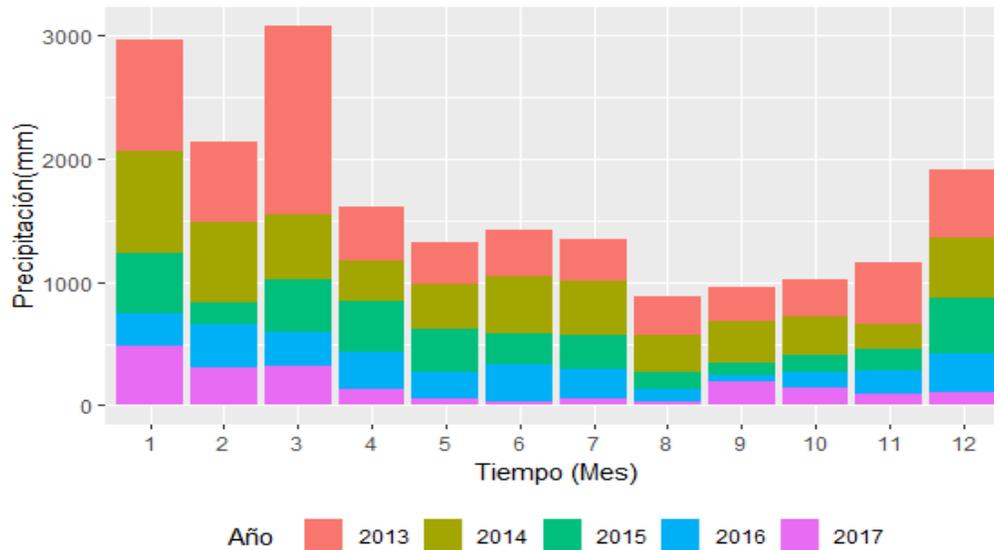
A diferencia de la temperatura la precipitación de Leticia no posee una simetría anual, los datos reflejan que las lluvias han disminuido gradualmente durante los últimos 5 años mostrando en la Figura 7 que en tan solo dos años la precipitación disminuyó casi en un 50% comparando los datos del 2013 y 2015. En cuanto a la cronología mensual (figura 8) se puede evidenciar que las máximas precipitaciones que se presentan a lo largo del año son en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, considerando los demás meses como época seca.

Figura 7. Precipitación anual Leticia 2013-2017



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 8. Precipitación mensual Leticia 2013-2017



Fuente: Elaboración propia, 2018

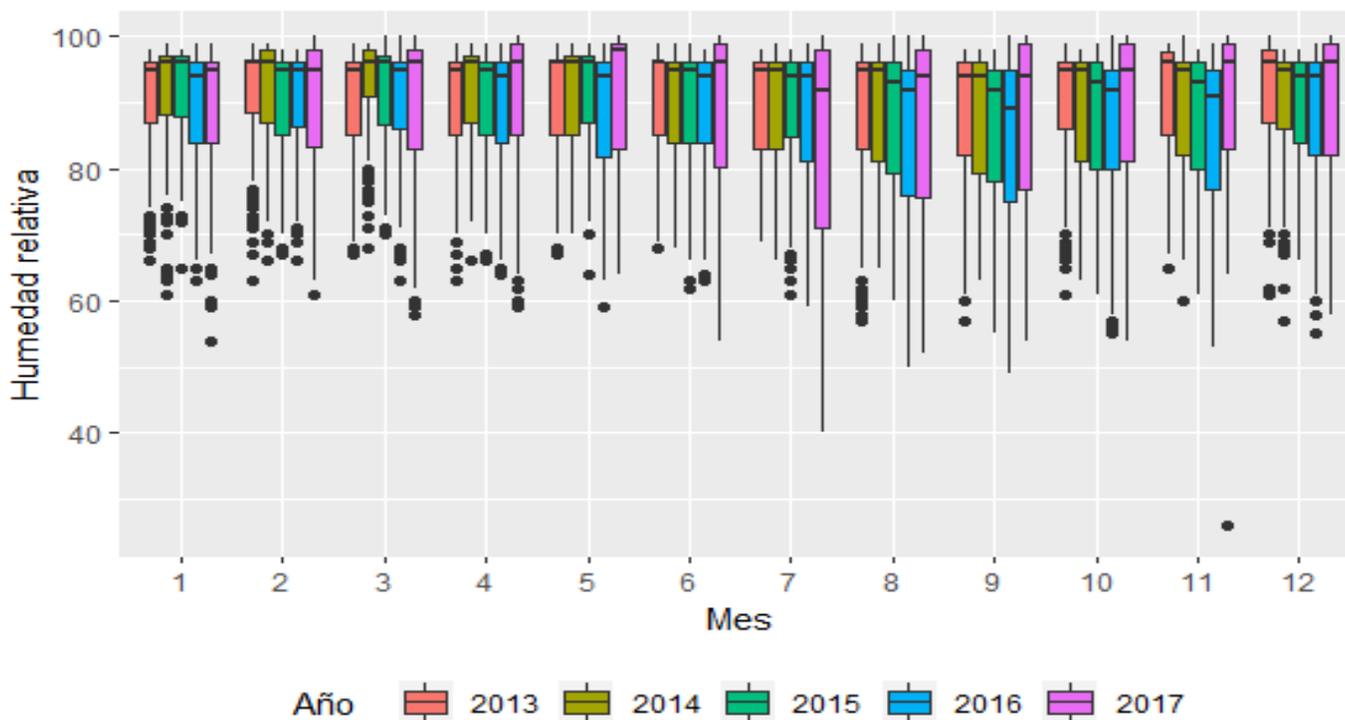
Las precipitaciones del lugar de estudio serán parte esencial tanto para el diseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire (SVCA), como para el entendimiento del comportamiento de los contaminantes a nivel atmosférico. Teniendo conocimiento acerca de la precipitación que se presenta en este caso de Leticia se puede determinar las épocas de sequía e inundaciones como se realizó anteriormente, las cuales serán el cimiento para determinar los tiempos de mediciones de la calidad del aire que tendrán mayor significancia.

Según la Resolución 2154 de 2010 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenibles, Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 (MADS) y se adoptan otras disposiciones, la duración de los monitoreos deben ser como mínimo un mes en época seca y un mes en época húmeda. Esta distinción se realiza ya que, por las condiciones climatológicas de cada una de las épocas, los niveles de los contaminantes serán diferentes. En épocas de lluvia los contaminantes son acentuados generando que exista una mejor calidad del aire, este suceso se debe a la capacidad de adhesión y la tensión superficial del agua; gracias a la atracción de moléculas de diferentes tipos el agua tiene la capacidad de adherirse con las moléculas de los contaminantes atmosféricos, la tensión superficial asegura la resistencia de este compuesto para que ocurra la atenuación de los contaminantes (Szigety & Viau, 2012).

8.1.3 Humedad relativa

Las variables temperatura y precipitación presentan una relación directamente proporcional con respecto a la humedad relativa. Es por esto que debido a las altas precipitaciones y la alta temperatura que se evidencia en Leticia, la humedad relativa también toma valores elevados, donde se han presentado hasta porcentajes del 100%, como lo fue durante el 2017 donde se presenciaron varios días del año que reportaron una humedad relativa de este porcentaje máximo. Así mismo en este año en el mes de noviembre se presentó la humedad relativa más baja registrada en los últimos 5 años, la cual fue de 27% tal y como lo muestra la Figura 9. Dentro de las variables meteorológicas estudiadas, esta es la que mayor variabilidad y dispersión posee, generando una mayor probabilidad de error a la hora de hacer usos de los datos para el diseño del sistema de vigilancia.

Figura 9 Humedad relativa 2013-2017



Fuente: Elaboración propia, 2018

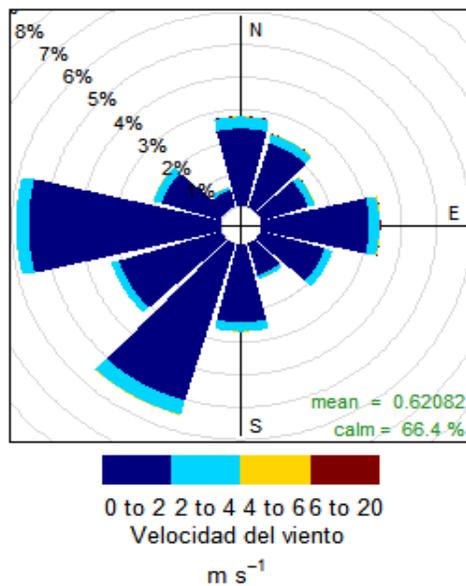
La humedad relativa indica la cantidad de vapor de agua que está presente en el aire, en comparación con la cantidad máxima de aire que podría haber bajo las mismas condiciones, en otras palabras, la humedad relativa es el porcentaje de saturación del aire (Aprilaire, 2013). Esta variable meteorológica al igual que la precipitación pueden promover la disminución de la concentración de contaminantes presentes en el aire por medio del lavado atmosférico como se explicó anteriormente.

8.1.4 Rosa de vientos

Por medio del programa estadístico R estudio, se analizan las variables de velocidad y dirección de viento obteniendo como resultado la rosa de vientos del municipio de Leticia (Figura 10). Además de esto se hace la distinción de la rosa diurna y nocturna tal y como lo estipula el manual de diseño de las redes de monitoreo y se muestra en la Figura 11. Para tener una visión mucho más clara y más acertada del comportamiento del viento se muestran en la Figura 12 la rosa de vientos de cada mes del año.

Cada una de estas rosas muestra una misma tendencia, los vientos que mayor frecuencia presentan los provenientes del este y noreste con velocidades entre 0 y 4,2 m/s. los vientos que menor frecuencia presentan son los que provienen del sureste y Noroeste. A pesar de que las velocidades de los vientos oscilan entre los 0 y 4 m/s en su gran mayoría. Sin embargo, existe la presencia de datos atípicos, donde la velocidad del viento puede llegar hasta los 20 m/s.

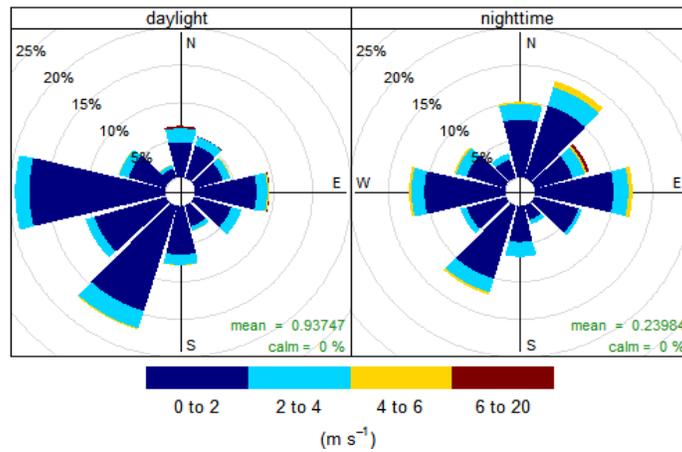
Figura 10. Rosa de vientos 2013 al 2017



Frequency of counts by wind direction (%)

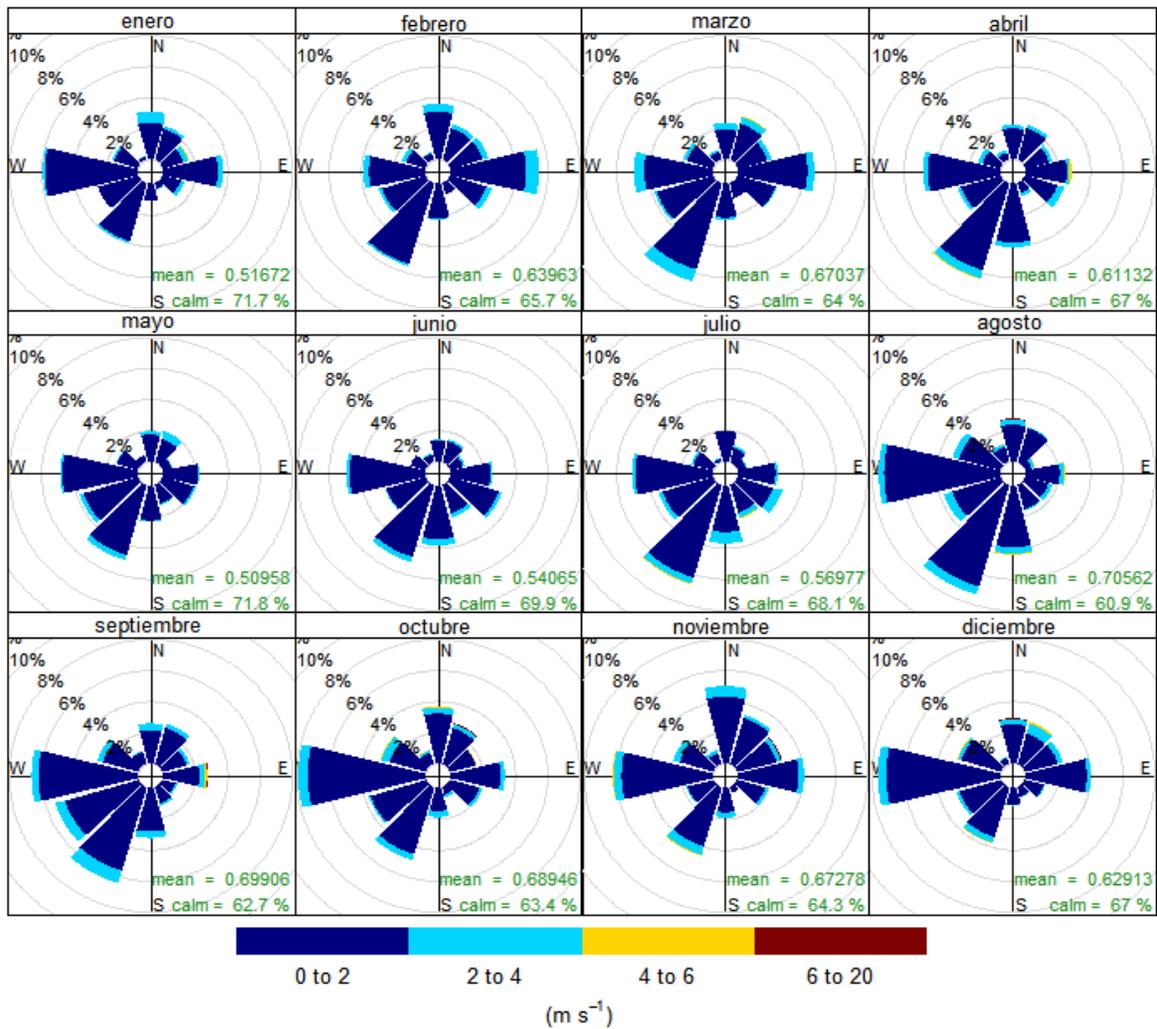
Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 11. Rosa de vientos diurna y nocturna 2013 al 2017



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 12. Rosa de vientos mensual



Fuente: Elaboración propia, 2018

La velocidad y dirección del viento determinarán la dinámica dispersiva de los contaminantes en el aire. Estas variables actúan como un medio de transporte estableciendo la orientación y la rapidez en la cual se difunden los contaminantes, logrando establecer puntos de concentración por medio de la sinergia entre estas variables y posibles obstáculos que estén presentes en el área de influencia. Además de esto, las variables que son determinadas por los vientos influyen en la estabilidad atmosférica, ya que por los efectos de inversión mencionados con anterioridad se pueden generar cambios en los mismos, alterando las condiciones normales presentes en el municipio. Esto se atribuye a la diferencia de pesos que existen entre las masas de aire caliente y aire frío, lo que generan cambios de presiones que producen a su vez los diferentes vientos (Cortés J. d., 2013).

8.1.5 Topografía

Leticia se caracteriza por presentar un terreno regular, donde no se evidencian cadenas montañosas o cañones que puedan afectar el flujo de los contaminantes. Las máximas elevaciones que se evidencian son 110 m.s.n.m aproximadamente con respecto al lugar donde se encuentra el centro urbano de Leticia que es de aproximadamente 79 m.s.n.m, como se muestra en la Figura 13. estas características generan que haya una buena circulación de los contaminantes y no se queden confinados en la ciudad de Leticia, lo que será un factor influyente en cuanto a la calidad del aire del municipio.

Figura 13. Mapa topográfico de Leticia



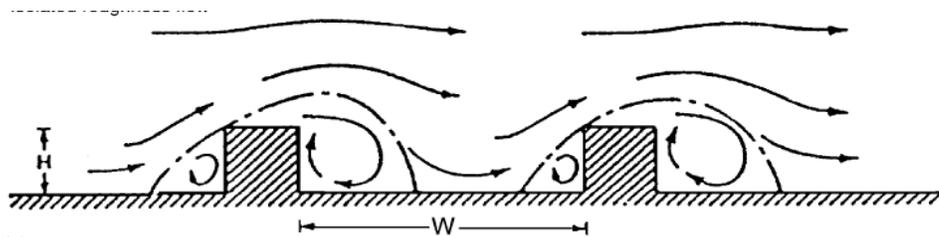
Fuente: Google Maps, 2018

La topografía, en conjunto con los vientos, determinarán el comportamiento de los contaminantes, cuando existen puntos con elevaciones abruptas, conocidas como obstáculos, pueden inducir a un flujo de viento en forma de espiral, las zonas de turbulencia, las cuales evitan que exista una correcta circulación de los contaminantes (figura 14). Según El Código de Regulaciones Federales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos número 40 (CFR 40), para evitar que se realicen mediciones en estas zonas de turbulencia la distancia del muestreador frente a obstáculos como edificios

o las altas elevaciones, deben ser mínimo dos veces la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador.

La importancia de este efecto sobre la calidad del aire se ve reflejado por las medidas que ha tomado la EPA por crear modelos como el de AERMOD, el cual disminuye el error que este efecto produce. Latini, Passerini, & Tascini, (2004) afirman que los valores de concentración cercanos a varios edificios pueden aumentar hasta en un 70 a 80% según los datos arrojados por el estudio realizado, lo que podría conducir a obtener resultados poco fiables al investigar la dispersión de la contaminación en un área urbana.

Figura 14. Regímenes de flujo perpendicular en cañones urbano



Fuente: Oke, 1988

8.2 Usos del suelo

Para la determinación de los usos del suelo del municipio de Leticia se hace uso de las imágenes satelitales Sentinel con un porcentaje de nubosidad inferior al 10% del 7 septiembre del 2017, las cuales son interpretadas por medio de la combinación de capas en el sistema de información geográfico ArcGIS. Se realizaron 3 composiciones para determinar las zonas urbanas, vegetación y agricultura.

El primer análisis que se hace sobre los usos del suelo se hace por medio de la combinación RGB de Falso Color, por medio del uso de las bandas 12 11 y 4. Esta superposición de bandas permite determinar cuáles son las áreas donde existen construcciones, es decir las zonas urbanas que se distinguen en la Figura 15 por el color blanco que existen en la imagen. Esta área es de gran importancia ya que es allí donde se genera la mayor parte de los contaminantes que afectan la calidad de aire del municipio.

El Primer análisis que se realiza es el de vegetación, el cual se determina por medio de la superposición de las capas 8, 4 y 3 conocida como infrarrojo. Estas capas permiten conocer las áreas donde existe presencia de una vegetación sana y a diferencia del falso color existe una distinción más clara entre la vegetación y los suelos descubiertos donde tampoco existe ningún tipo de construcción. Sin embargo, no se distinguen las zonas que son usadas para la agricultura o que simplemente son suelos desnudos. En la Figura 16 se muestran las zonas de color rojo donde existe presencia de vegetación.

Finalmente se realiza el análisis de las parcelas donde se realizan actividades de agricultura por medio de la combinación de las bandas 11, 8A y 2. En este caso se evidencia la diferencia de las áreas con una coloración café que hacen referencia a las practicas ya mencionadas, como se observa en la parte superior central de la Figura 17 y al oeste del municipio. Estas bandas permiten realizar un análisis más profundo, ya que es posible determinar los tres tipos de usos de suelos que fueron mencionados con anterioridad. sin embargo, este tipo de combinación tiene como finalidad la determinación de las áreas dispuestas para la agricultura.

Figura 15. Uso del suelo, falso color



Fuente: Sentinel 2

Figura 16. Uso del suelo, infrarrojo



Fuente: Sentinel 2

Figura 17. Uso del suelo, agricultura



Fuente: Sentinel 2

El análisis de los usos del suelo es posible gracias al principio de la reflectancia espectral, demostrada por la proporción de energía incidente que es reflejada por una superficie. Según Labrador, Évora y Arbelo (2012), la presencia de humedad hace decrecer la reflectancia, por lo que se espera que, debido a la alta humedad presente en los suelos del Amazonas, las imágenes satelitales expuestas en el presente estudio presenten un grado de error frente a la realidad en Leticia. Sin embargo, sirven como una aproximación sobre las zonas de agricultura que influyen en la calidad del aire del municipio y la magnitud del área construida de la zona urbana.

La agricultura es una actividad que debido al uso de pesticidas y principalmente por el arado de la tierra, contribuye a las emisiones de material particulado menor a 10 micras. Además, al terminar los periodos de cultivos, las tierras quedan expuestas a un proceso erosivo sin una capa vegetativa que proteja el suelo y aumentando así la posibilidad de que ocurra un levantamiento de polvo por los vientos presentes. Según Xavier Querol esta actividad puede llegar a contribuir hasta el 10% de las emisiones de material particulado de un lugar determinado, dependiendo la magnitud de la tierra y la característica del cultivo. (Cortés J. , 2013)

8.3 Fuentes emisoras

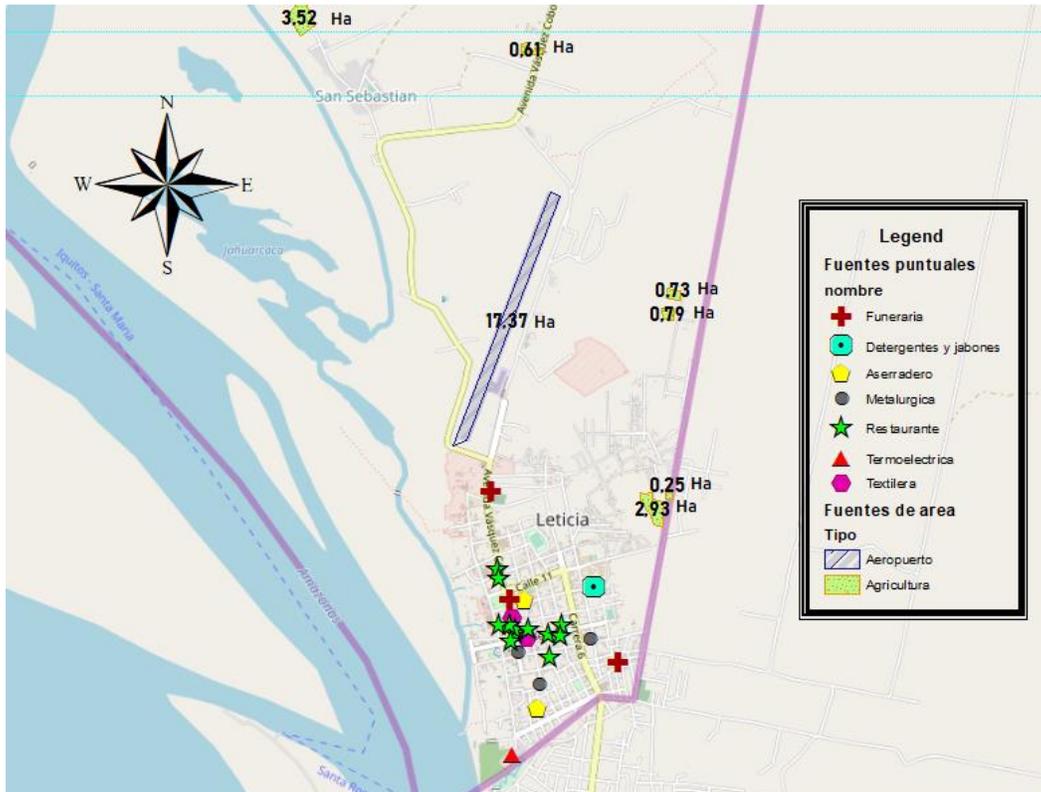
8.3.1 Identificación de fuentes fijas

Dentro de las fuentes fijas identificadas se encuentran todas las industrias presentes en el municipio que dentro de sus procesos utilizan la quema de combustibles, principalmente de origen fósil y carbón, como lo es la termoeléctricas, las metalúrgicas, textileras y aserraderos. Además de esto, se encontraron 3 funerarias dentro del municipio de Leticia, en las cuales se realizan procesos de cremación, donde son emitidas proporciones considerables de Material particulado. A pesar de que los establecimientos comerciales emiten una menor cantidad de PM₁₀ que las industrias u otros tipos de fuentes, esta zona será parte representativa en la toma de decisiones en la ubicación de las estaciones debido a la gran cantidad de fuentes emisoras.

La identificación de estas fuentes se llevó a cabo por medio de los mapas satelitales como lo es google Earth y google Street, con los cuales se realizó la observación de la ubicación de los diferentes establecimientos industriales y comerciales presentes en Leticia. Esta información fue apoyada por medio de la guía empresarial unversia, donde se puede acceder a los datos básicos de las empresas presentes en Leticia incluyendo su dirección.

A continuación, en la Figura 18 se muestran las diferentes fuentes fijas presentes en el municipio, incluyendo las zonas de agriculturas determinadas en la sección usos del suelo y las descritas previamente.

Figura 18 Fuentes Fijas



Fuente: Elaboración propia, 2018 con base en Google Street

Una vez identificadas las fuentes emisoras, se realiza una aproximación de las concentraciones de PM_{10} que pueden generar las actividades que se llevan a cabo dentro del municipio de Leticia. Se toma como referencia estudios de las emisiones de Material particulado en los municipios colombianos registrados en el sistema de Información sobre Calidad del Aire SISAIRE.

Para las emisiones del Aeropuerto Internacional Alfredo Vásquez Cobo se hace uso de la información del Aeropuerto Benito Salas de Neiva. Este aeropuerto al igual que el de Leticia presentan una baja circulación de transporte aéreo y se encuentran ubicados en zonas climáticas con temperaturas similares. Según el informe de la aeronáutica civil presentado en el 2012 la concentración promedio de material particulado para este aeropuerto fue de $19.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según el método gravimétrico, haciendo uso del equipo High Volumen Air Sampler donde el flujo de aire fue de $6873480 \text{ m}^3/\text{h}$ por lo que la concentración fue de 118,86 toneladas/año (Epm, 2012).

Otra de las fuentes de gran relevancia es la planta generadora de energía a partir de la combustión de carbón, la cual se compara con la termoeléctrica de Tasajero, la cual para el año 2007 reportó una emisión de material particulado de 27,02 kg/h es decir 236,69 toneladas/año (Lopez & Sanchez, 2007). Estos datos pueden ser utilizados como referencia de las emisiones para la actividad de generación de energía ya que ambas centrales termoeléctricas utilizan el fuel-oíl como combustible para el encendido inicial, y carbón como combustible primario para a generación de energía lo que genera que las emisiones de material particulado provengan del mismo tipo de combustible.

La estimación de las emisiones por parte de las industrias se realiza con base en el estudio realizado por Jaramillo et al (2005). Las actividades que se tendrán en cuenta serán las de generación de alimentos, textiles, metalúrgicas, aserraderos y elaboración de detergentes. En la Tabla 5 se muestran la cantidad de empresas presentes en el municipio de Yumbo Cali, por tipo de actividad y las emisiones totales de material particulado por cada sector industrial en la tabla 6, por lo que se determina las posibles emisiones de manera individual por actividad teniendo en cuenta la cantidad de empresas y el valor de la concentración del contaminante.

Tabla 5 Emisiones de PM₁₀ de los sectores industriales de Yumbo-cali

Actividad	Número de empresas	Emisiones totales PM₁₀ (tonelada/año)	Emisiones por fuente PM₁₀ (tonelada/año)
Alimentos y bebidas	22	490,36	22,2890909
Textiles y confecciones	4	1408,36	352,09
Madera y derivados	2	134,56	67,28
Industria química	26	59,78	2,29923077
Metalúrgicas	19	407,89	21,4678947

Fuente: Jaramillo et al, 2005

8.3.2 Identificación de fuentes Móviles

En el Municipio de Leticia los medios de transporte no presentan una alta variabilidad como los que suelen encontrarse en las grandes ciudades. El principal medio de transporte son las motos, y en menor medida los automóviles; Las motos son distribuidas dentro de la misma ciudad mientras que los autos deben ser transportados por medio aéreo desde otras ciudades del país, por lo que la comercialización de las motos es mayor y por lo tanto el medio más utilizado en el municipio. En cuanto al transporte público las personas suelen hacer uso de los taxis, sin embargo, la mayor población que existe en cuanto a este tipo de transporte son los Motocarros. Según un estudio realizado por Barros, J (2017) afirma que en el 2017 se registraron aproximadamente 600 de estos vehículos dentro del casco urbano conocidos comúnmente como “tuk tuk”. Estos tipos de vehículos utilizados en Leticia generan un aporte moderado de Material Particulado en caliente, emisiones emitidas por la volatilización del combustible una vez encendido el motor y que pueden generarse en el sistema de alimentación después de que este se ha apagado debido al calor residual presente (Castro & Escobar, 2006).

El mayor aporte en cuanto a contaminantes se genera a causa del mal estado de las vías. El constante deterioro de las calles por el paso de los sistemas de transporte que genera que pequeñas partículas sean suspendidas en el aire, y sobre todo la cantidad de polvo que se puede observar en la Figura 19 es una de las principales fuentes que deterioran día a día la calidad del aire. En muchos de los casos la masa total del material particulado menor a 10 micras posee un aporte significativo de material proveniente del suelo por el desgaste de las vías y el polvo en suspensión, Vargas & rojas (2010), demuestran esta afirmación por medio de un estudio donde determinaron que el aporte de minerales y polvo por esta actividad es de aproximadamente el 40%, mostrando la veracidad de múltiples estudios realizados con anterioridad.

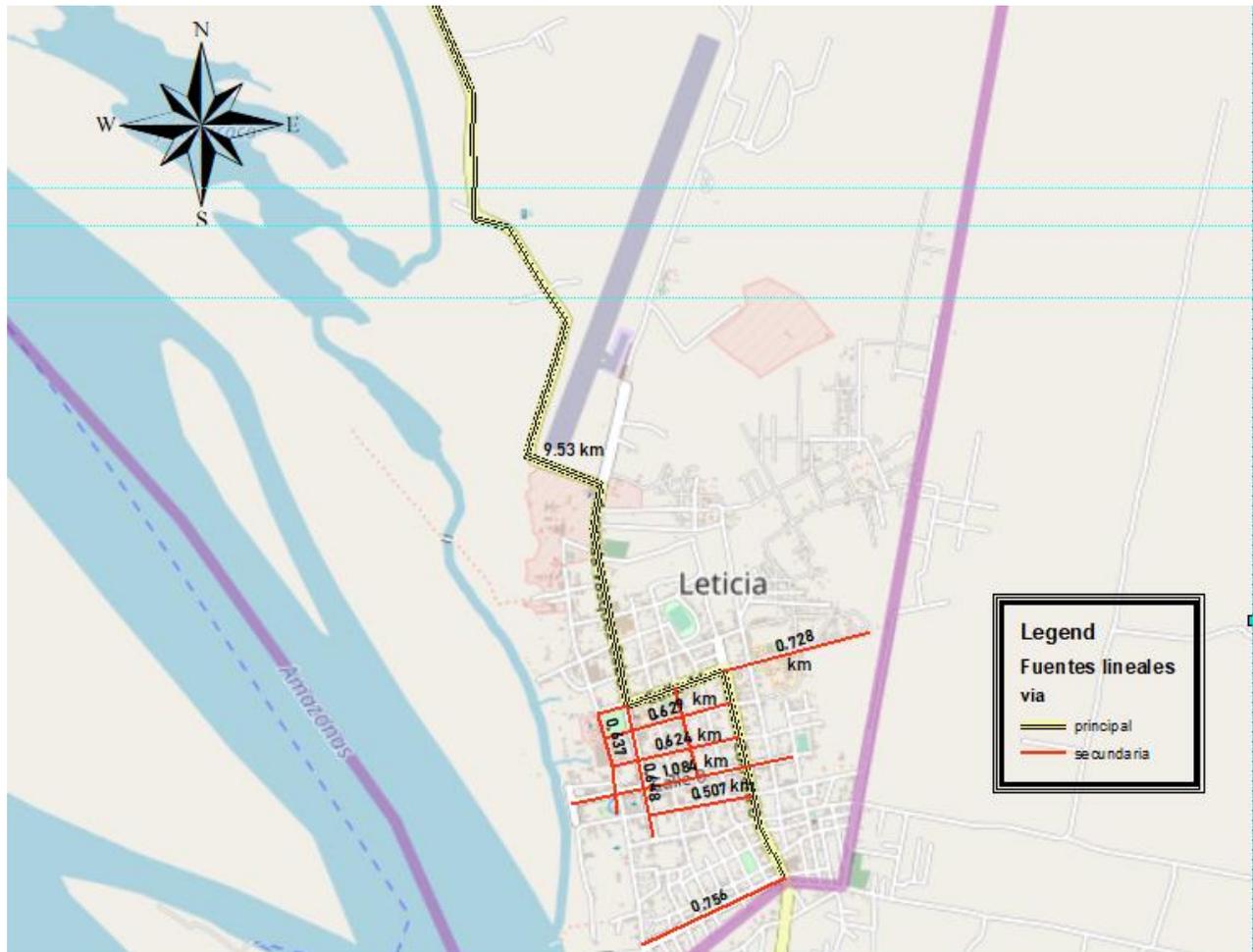
Figura 19 Estado de las vías de Leticia



Fuente: Google Maps.

Para poder establecer los puntos clave para la ubicación de las estaciones se realizó la distinción entre vías principales y secundarias tal y como se muestra en la Figura 20 sobre las fuentes lineales. Allí se estableció la vía principal aquella que comunica el aeropuerto con el municipio de Tabatinga, ya que son los dos puntos de principal acceso al municipio. Las otras vías fueron clasificadas como secundarias, sin embargo, solamente se tienen en cuenta las que poseen un mayor tránsito, siendo las calles comerciales.

Figura 20. Fuentes Móviles



Fuente: Elaboración propia, 2018 con base en Google Street

En el caso de las fuentes móviles no se realiza la aproximación de los contaminantes debido a que para determinar un valor acertado de la concentración de los contaminantes es necesario tener en cuenta tanto las emisiones en frío y en caliente que se mencionaron con anterioridad, todos los estudios consultados presentan las emisiones de materia particulado de las motocicletas generadas por la combustión pero no incluyen las generadas por los estados en que se encuentran las vías, ni la cantidad de material que puede ser suspendido por el paso del transporte (polvo). Por esta razón no se consideran significativos los datos de las referencias bibliográficas para el estudio de las emisiones móviles y solo se tiene en cuenta lo mencionada con anterioridad.

8.3.3 Inventario de emisiones

En la Tabla 6 se muestra el inventario de emisiones teniendo en cuenta las aproximaciones de las concentraciones de PM10 estudiadas en el capítulo anterior de las fuentes más representativas. Además, se tiene en cuenta el número de fuentes dependiendo del tipo de actividad que genera el contaminante para

determinar las concentraciones por actividad. Las fuentes que no tienen un impacto representativo o no es posible comparar debido a las múltiples variables que lo componen; simplemente serán tenidas en cuenta por la cantidad de establecimientos que existen más que por las concentraciones de contaminantes.

La Magnitud de las fuentes emisoras fueron establecidas por medio de ARCGIS, donde las fuentes fijas puntuales se contabilizó el número de chimeneas por actividad, en el caso de las fuentes de Área se determinó el área en hectáreas y por último las fuentes lineales se estableció los km de la longitud de la vía.

Tabla 6 Inventario de emisiones

Tipo de fuente	Tipo de actividad	Concentración de PM ₁₀ (tonelada/año)	Magnitud de fuentes emisoras	Total de concentración de PM ₁₀ (tonelada/año)
Puntual	Termoeléctrica	236,70	1 chimenea	236,70
	Cremaciones	9	3 chimeneas	27 µg/m ³
	Textilera	352,09	2 chimeneas	704,18
	Metalúrgica	21,47	3 chimeneas	64,40
	Aserradero	67,28	2 chimeneas	134,56
	Elaboración detergentes y jabones	2,30	1 chimenea	2,30
	Preparación de alimentos	22,29	12 chimeneas	267,48
Área	Aeropuerto	118,86	17.37 Ha	118,86
	Agricultura	-	8.83 Ha	-
Lineal	Vía principal	-	9.53 Km	-
	Vía secundaria	-	5.61 Km	-

Fuente: Elaboración propia

8.4 Tipo de sistema de vigilancia

Teniendo en cuenta el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, emitido por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2010), el tipo de SVCA que se desarrollara en el municipio de Leticia es el de tipo 1 indicativo. A pesar de que la población de Leticia no supera los 50 mil habitantes, la población ha demostrado una preocupación por el aumento de la mala calidad del aire, es por esto que se implementa este tipo de sistema, con el fin de prevenir posibles afectaciones a la salud y al ecosistema en un municipio de gran importancia no solo para el territorio colombiano, por ser la capital del Amazonas, sino para los países de Brasil y Perú, ser una zona de gran confluencias de los municipios limítantes de estos dos países con Leticia.

Este sistema no posee una gran complejidad, es el que menos parámetro de medición posee debido a los objetivos que se desean cumplir al realizar las mediciones. En este caso servir como base de información para evaluar el riesgo para la salud humana, determinar posibles riesgos para el medio ambiente, y finalmente soportar investigaciones científicas. Una vez establecido el tipo se seguirán las características que se muestran a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7 Características del sistema de vigilancia

Característica	Parámetro	Observaciones
Tecnología de medición	Muestreo activo	
Tiempo de monitoreo	Mínimo tres meses en época seca	Podrá monitorearse También en combinación de época seca y húmeda (mínimo 1.5 meses en época seca)
Periodicidad del monitoreo	Máximo cada 3 años se deberá repetir la campaña	Se variará el periodo de acuerdo con el análisis normativo descrito abajo
Parámetros a medir	PM ₁₀	
Número de estaciones	Mínimo 2 estaciones	
Tipo de estaciones	Fondo Fondo urbana EPE*	
Ubicación de estaciones	Una estación ubicada vientos arriba de la localidad sin influencia de las fuentes estudiadas y otra, vientos abajo de las fuentes de mayor influencia	Otras estaciones serán ubicadas de acuerdo a la rosa de vientos en sitios con población afectada por otras fuentes vientos debajo de ellas
Periodicidad del muestreo	Mediciones de 24 horas, cada tercer día	Se deben completar como mínimo 30 muestras en cada estación
Instrumentos meteorológicos	Precipitación manual Estación meteorológica automática portátil en caso de no existir información simultanea	

* Estación de propósito especial

Fuente: MADS, 2010

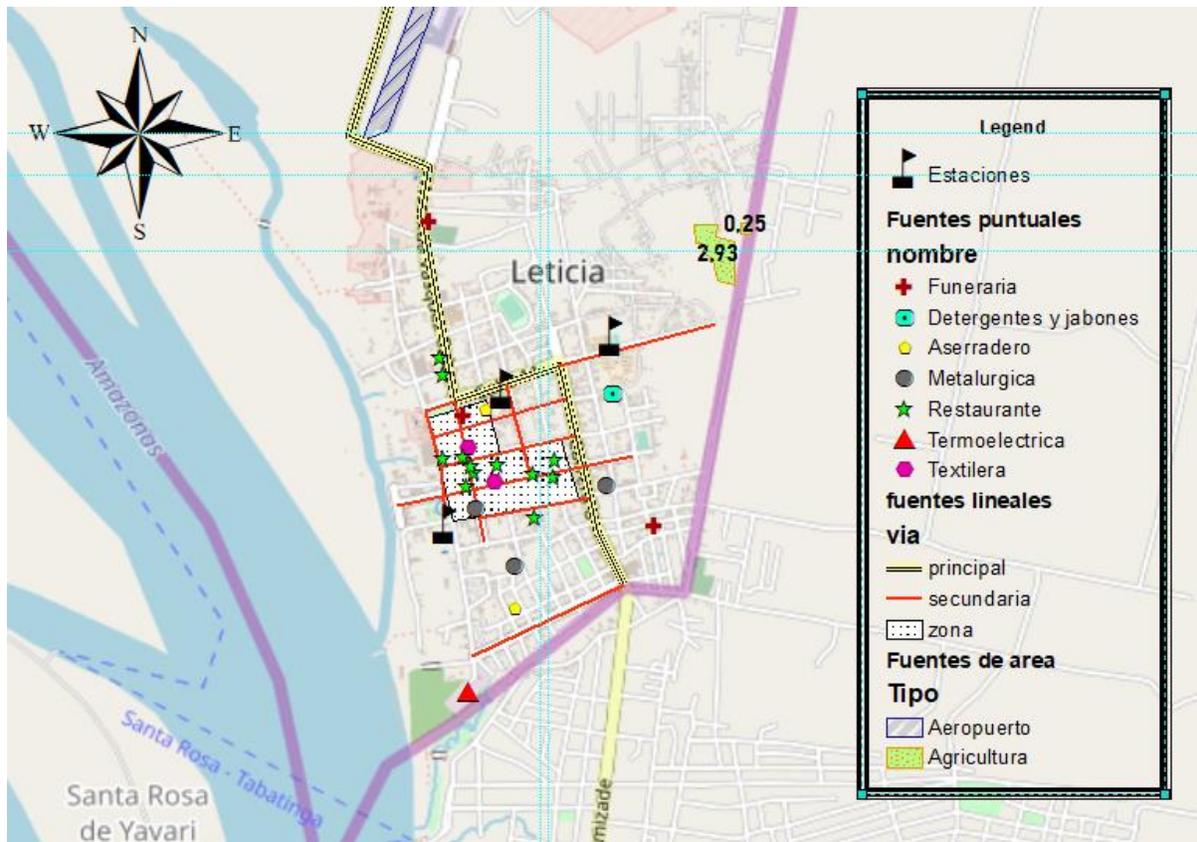
8.5 Estaciones de monitoreo

Una vez determinada el tipo de SVCA que mejor se adapta a las condiciones del municipio, y ya sabiendo las fuentes de emisiones presentes en el municipio que influyen en la calidad del aire del mismo, se establecen los tipos de estaciones. Las 3 estaciones serán de fondo, fondo urbano y de transporte, esta última haciendo referencia la de estación de propósito especial enunciada en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire (Tabla 7), teniendo en cuenta que el transporte también es una fuente importante de emisiones

Las estaciones se ubican lejos de obstrucciones como árboles y vallas que puedan alterar significativamente el flujo de aire para evitar eventos que sesguen el muestreo. La estación de fondo y

fondo urbana se localizaron en la misma dirección del viento predominantes. La estación de fondo se sitúa en el extremo suroccidente del polígono demarcado por la cantidad de fuentes emisoras como se muestra en la Figura 21. La estación de fondo entonces se ubica vientos arriba hacia el noroeste del municipio. Por último, la estación de tránsito se localiza cerca de la intersección entre la vía principal y una de las vías secundarias donde existe una mayor influencia por parte de las fuentes móviles. En la Tabla 8 se enuncia el tipo de medición de cada estación y la dirección exacta de donde podrían estar posicionadas las tres estaciones.

Figura 21 Ubicación estaciones de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2018 con base en Google Street

Tabla 8 Características generales de las estaciones de monitoreo.

Tipo de estación	Tipo de medición	Ubicación	Consideraciones de ubicación
Fondo	Contaminación atmosférica	Colegio Cristo rey- Minutos de Dios Calle 11 # 0.3-04	Esta entidad educativa se encuentra ubicada en el occidente de la ciudad de Leticia. La infraestructura es adecuada para la ubicación de los equipos y sensores ya que no posee edificio de más de dos pisos de altura, además cuenta con amplias zonas verdes, con buenas condiciones de seguridad y accesibilidad para los operarios.
Fondo urbano	Contaminación atmosférica y meteorológica	Decamerón Decalodge Ticuna Cra 11 No 6-11	El Decamerón es un hotel ubicado vientos debajo de las fuentes de mayor influencia, por lo que posee un aporte considerable de contaminantes. La estación será posicionada en una de las grandes zonas verdes que posee el hotel para evitar que posibles emisiones generadas en este punto generen un sesgo en las mediciones de las concentraciones del material particulado emitido por las fuentes del municipio.
Transito	Contaminación atmosférica	Escuela normal superior Marcelino Eduardo Canyes Santacana Calle 11 #8-20	Esta escuela cuenta con un polideportivo, un lugar idóneo para posicionar la estación de monitoreo de tránsito, ya que se encuentra cercano a la intersección entre la vía principal y una de las vías secundarias. Además, este centro educativo este localizado viento arriba de las fuentes de emisiones puntuales por lo que no hay un gran aporte de otro tipo de contaminantes que no sean provenientes de fuentes móviles.

Fuente: Elaboración propia, 2018

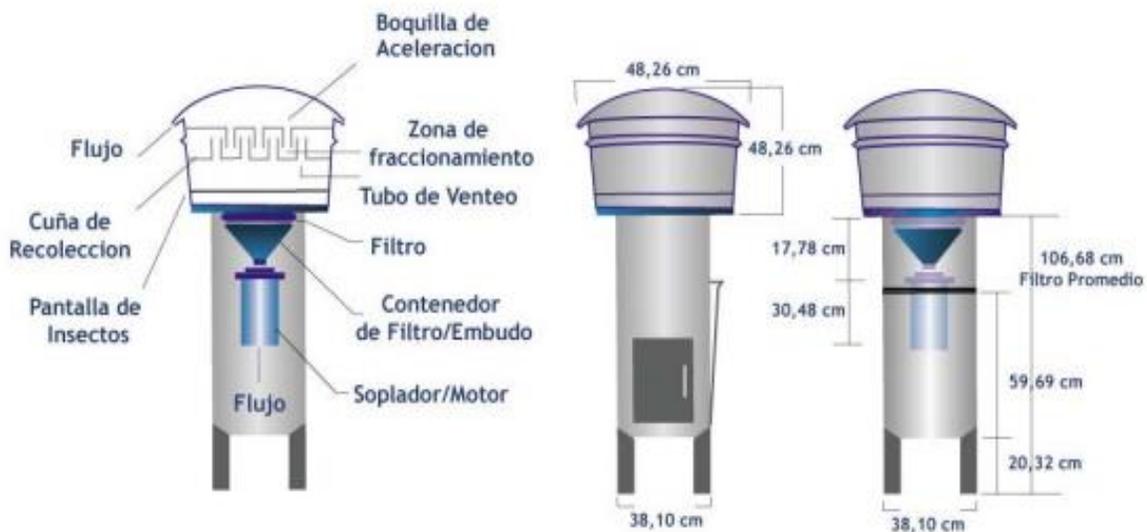
Según las especificaciones de los sistemas de vigilancia de tipo indicativo, el parámetro a medido es el PM₁₀. Este contaminante a lo largo de la historia ha sido uno de los más estudiados y al que mayor importancia se le da con respecto a los demás contaminantes criterio, debido a que el material particulado posee una composición tóxica donde se resalta principalmente la presencia de sulfatos, nitratos, ácidos, metales y carbono negro, los cuales dependerán básicamente de la actividad de la que provenga,

incrementando notoriamente las tasas de morbilidad y mortalidad de las poblaciones expuestas (Serrano et al, 2009).

Debido a que la población de Leticia es de aproximadamente 50000 habitantes y no existe una problemática ambiental puntual sobre la que se desee indagar, no es imperativo realizar mediciones de otros contaminantes tal como lo enuncia la norma, será necesario realizar las mediciones de Material particulado por su grado de incidencia en la salud como ya fue mencionado. En los únicos casos donde en este tipo de SVCA se deba incluir medición de gases, es en poblaciones pequeñas que sean vecinas de regiones que posean una alta presencia de fuentes contaminantes. Debido a la usencia de zonas que se caractericen por lo anteriormente dicho cercanas al municipio de Leticia, se implementara exclusivamente el monitoreo de PM_{10} (MADS, 2010).

Para dar cumplimiento a las mediciones de PM_{10} , el sistema de recolección que se propone es el método de alto volumen, método de referencia establecidos por la EPA. El período de muestreo será de 24 horas y se instalará como se muestra en la Figura 22. Debido a la alta humedad presente en Leticia, se hará uso de filtros de cuarzo los cuales poseen una mayor exactitud con respecto a los de fibra de vidrio en ambientes como los del Amazonas. La masa de material particulado posteriormente es determinada por medio de gravimetría y el material recolectado puede analizarse para determinar la identidad y la cantidad de compuestos inorgánicos (metales) y orgánicos presente en la muestra (EPA, 2008)

Figura 22. High volume air sampler



Fuente: EPA, 2008

Después de que se hayan elegido los filtros deseados, cada uno debe registrarse con un número de serie, para tener control del peso de cada filtro, los cuales deberán tomarse directamente de la cámara de acondicionamiento a la balanza para evitar contaminar el filtro. Los filtros no deben plegarse ni arrugarse antes de su uso, ya que esto puede establecer errores en los patrones de flujo en el momento que se realiza el muestreo (EPA, 2008).

En el caso de las mediciones meteorológicas Se instalará una estación meteorológica portátil en el punto de mayor representatividad. Según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de diseño esta estación deberá contar con equipos que realicen la medición de Velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa, precipitación y presión barométrica

Las mediciones de la temperatura y la humedad relativa se realizarán por medio de un termohigrómetro. Por medio de un elemento sensible llamado "bimetálico" se realizan el sondeo de la temperatura, este se encuentra conectado a un sistema de transmisión y amplificación. La humedad relativa, se obtiene a través de la medición de la longitud de un haz de cabello, el cual gracias a la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera se contrae o se dilata. Los cambios de temperatura y de humedad relativa son registrados en un diagrama a través de un brazo inscriptor que componen cada uno de los muestreadores. Para asegurar que los datos registrados pertenezcan a los valores reales el higrómetro deberá ser instalado en un ambiente con buena ventilación y protegido de la radiación solar por medio de cobertizo meteorológico. ya que sin este el instrumento estará Midiendo la temperatura del vidrio que lo cubre como se muestra en la figura 23 (Garreaud & Meruane, 2005).

Figura 23 termohigrómetro



Fuente: Oakton, 2015

Para la presión atmosférica se hará uso de un barómetro aneroide (Figura 24). Este mide por una deformación de la pared elástica de un cilindro en el que se ha hecho un vacío parcial debido a la presión que se ejerce sobre esta. Los registros se hacen por medio de una aguja llamada barógrafo que mide el valor actual de la presión y su evolución en el tiempo. En el caso de la precipitación se utiliza el pluviómetro donde por medio de una probeta graduada se determina la cantidad de lluvia caída dada en milímetros en un intervalo de tiempo determinado (Garreaud & Meruane, 2005).

Figura 24 Barómetro aneroide



Fuente: Yaxa 2013

Por último, para realizar las mediciones de velocidad y dirección del viento se hace uso de un anemómetro de copelas, el cual mide la velocidad de rotación de unos casquetes semiesféricos que giran con respecto a un eje vertical por la acción del viento (Figura 25). Este instrumento se une con una Valeta para determinar la dirección del viento, la cual está formada por una placa plana posicionada sobre un plano vertical (figura 21) y que gira libremente orientándose siempre en la dirección predominante del viento debido a su momento de inercia (Garreaud & Meruane, 2005).

Figura 25 Anemómetro veleta



Fuente: La Crosse Technology, 2016

8.6 Aseguramiento de la calidad

Para asegurar la calidad del sistema de vigilancia, las muestras deberán ser tomadas desde la medianoche hasta la medianoche (hora local). La periodicidad dependerá de los niveles relativos de concentración, si la muestra supera los niveles permisibles establecidos en normatividad colombiana, en la Resolución 2254 de 2017 emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, es decir $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entonces se deberán incrementar la frecuencia de muestreo a día de por medio, hasta controlar y minimizar las concentraciones. De lo contrario la toma de datos se podrá realizar cada seis días según lo establece la EPA.

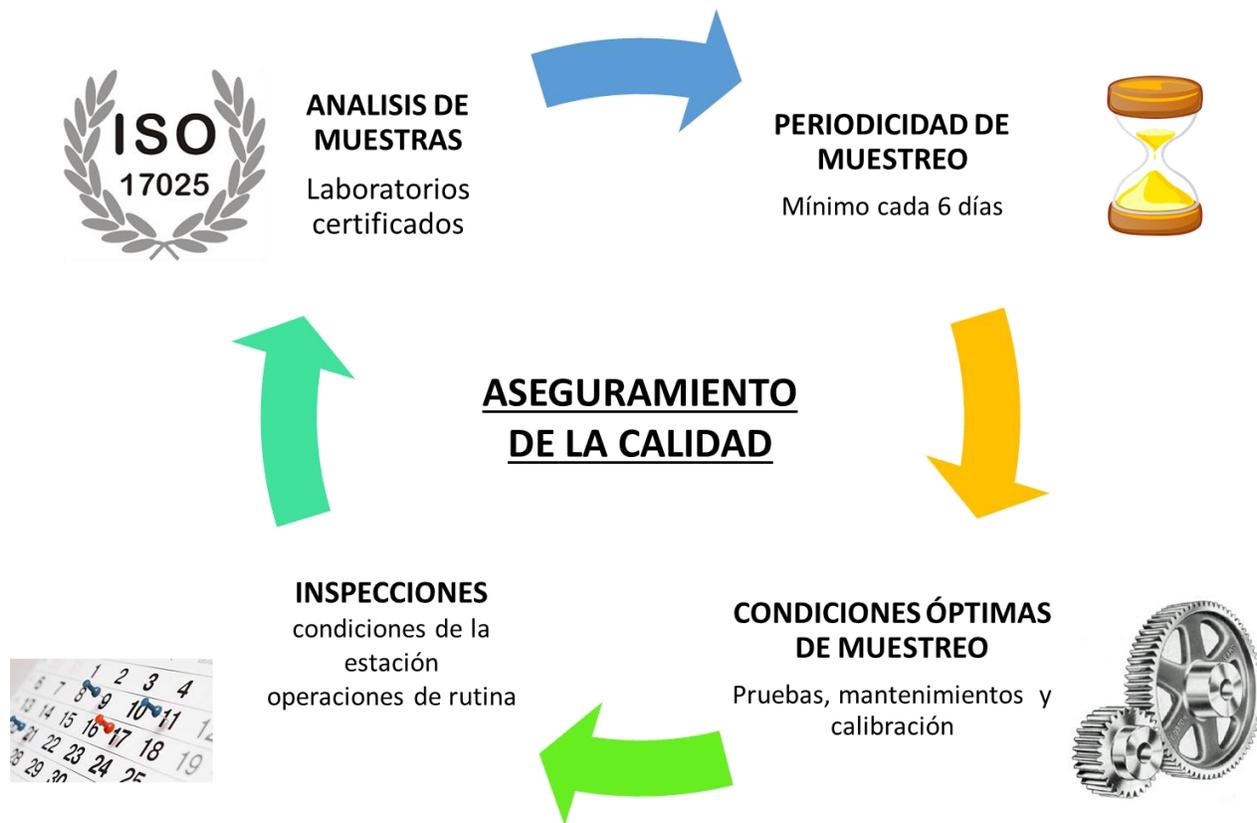
Con el fin de mantener de manera constante las condiciones óptimas del muestreo se realizará una prueba de fugas mínimo cada seis meses o cuando se sospeche de errores dentro del sistema. La limpieza de los mecanismos de muestreo se deberá ejecutar anualmente con productos que no dejen residuos en el sistema. Cada vez que se realice la limpieza deberá procederse a realizar la calibración para así evitar errores en los próximos muestreos. La calibración también se deberá realizar al momento de la instalación del sistema tomando como referencia las condiciones meteorológicas de Leticia como la humedad relativa.

Por último, se deberá estipular un calendario de visitas a los sitios de muestreo, asegurando por lo menos 5 visitas al mes, con el fin de realizar inspecciones de todos los instrumentos para asegurar su correcto funcionamiento. Las visitas deberán ser registradas al igual que cualquier eventualidad que se presente. Estas visitas serán base fundamental para realizar operaciones de rutina como el cambio de los filtros y la limpieza de los equipos.

Se deberán tener otras consideraciones para facilitar la revisión del correcto funcionamiento de las estaciones de monitoreo, implementando tiras de papel delante del tubo de escape del ventilador para permitir una revisión visual del soplador. Para reducir la condensación del vapor de agua se deberán posicionar las salidas de aire acondicionado lejos del colector y los analizadores. La revisión del funcionamiento se deberá realizar como mínimo cada seis meses.

Es necesario que el análisis de las muestras se lleve a cabo en un Laboratorio acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”, y según lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015, con el fin de asegurar la veracidad de los datos. Debido a que Leticia no cuenta con laboratorios certificados, los datos serán estudiados por el laboratorio Tecnoambiental S.A.S, ubicado en la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta, uno de los laboratorios certificados más cercanos a Leticia, el cual asegura la confiabilidad de que los datos serán analizados manteniendo las condiciones del lugar de origen. Este laboratorio fue certificado el 17 de julio de 2016 y tiene vigencia hasta el 27 de julio de 2020, por lo que en ese año es imprescindible que se cuente con la renovación de la certificación para continuar analizando las muestras en este laboratorio, de lo contrario se deberá contar con otro laboratorio.

Figura 26. Aseguramiento de la calidad del sistema de vigilancia



Fuente: Elaboración propia, 2018

8.7 Socialización y divulgación de la información

La socialización y divulgación de los datos del SVCA, se realizará con el fin de lograr una correcta comunicación con la comunidad y poder elaborar estrategias de mitigación de impactos tales como posibles afectaciones a la salud de la población de Leticia por una mala calidad del aire. Los datos registrados serán reportados mensualmente ante la autoridad competente y al IDEAM, que es el centro de investigación encargado sobre la calidad del aire en el territorio colombiano. El reporte deberá contener como mínimo los datos básicos del SVCA como lo es la localización y descripción de las estaciones de monitoreo, el resumen del comportamiento de las condiciones meteorológicas, la dispersión y concentración de los contaminantes y el Informe de la operación mensual de la red donde se incluye el funcionamiento de los equipos, mantenimientos, calibración entre otros. A continuación en la Tabla 9 se muestra un posible formato para la divulgación de la información.

Tabla 9 Formato de reporte sobre el estado de la Calidad del Aire

Reporte mensual sobre el estado de la Calidad del Aire						
Fecha:		Lugar:				
Normatividad vigente:						
Norma	Descripción					
Estaciones de monitoreo						
1	Localización:					
	Descripción:					
	Concentraciones de MP < 10					
	Nivel Max					
	Nivel min					
	Promedio					
	Distribución					
	Meteorología					
		Temperatura (°C)	Presión Atm (mmHg)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento (m/s)
	Nivel Max					
	Nivel min					
	Promedio					
	Operación					
	Funcionamiento de equipos					
	Mantenimiento					
	Calibración					
Repuestos						
2	Localización:					
	Descripción:					
	Concentraciones de MP < 10					
	Nivel Max					
	Nivel min					
	Promedio					
	Distribución					
	Operación					

Reporte mensual sobre el estado de la Calidad del Aire		
	Funcionamiento de equipos	
	Mantenimiento	
	Calibración	
	Repuestos	
3	Localización:	
	Descripción:	
	Concentraciones de MP < 10	
	Nivel Max	
	Nivel min	
	Promedio	
	Distribución	
	Operación	
	Funcionamiento de equipos	
	Mantenimiento	
	Calibración	
	Repuestos	
Análisis		
Conclusiones		

Fuente: *Elaboración propia, 2018*

). Para realizar las respectivas correcciones de los valores obtenidos a los de referencia se deberá hacer uso de la ecuación de los gases ideales y sus respectivas relaciones (Figura 27).

Figura 27. Formula gases ideales y relaciones

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$
$$P \cdot V = \frac{m \cdot R \cdot T}{PM}$$
$$P = \frac{m}{V} \cdot \frac{R \cdot T}{PM}; \text{ como } \frac{m}{V} = C$$
$$P = C \cdot \frac{R \cdot T}{PM}$$
$$C = \frac{P \cdot PM}{R \cdot T}$$

Fuente: MADS, 2010

Donde:

m: Masa de la sustancia (kg)

PM: Peso molecular de la sustancia (kg/kg-mol)

C: Concentración de la sustancia en el gas (kg/m³ o g/L)

Para obtener la concentración a referencia (C_i)_{st} se relaciona la última ecuación de la Figura 27 con los valores de referencia con la misma ecuación, pero tomando los valores de la ciudad, obteniendo así la ecuación de la Figura 28.

Figura 28 Formula de corrección de concentraciones

$$(C_i)_{st} = \frac{(P)_{st} \cdot PM_i \cdot R \cdot (T)_j}{R \cdot (T)_{st} \cdot (P)_j \cdot PM_i} \cdot (C_i)_j$$

Fuente: MADS, 2010

Donde:

X_{st}: Valores de referencia

X_j: Valores de Leticia

Para reportar el estado de la calidad del aire se implementará el índice de la calidad del aire (ICA), donde por medio de valores que se encuentran entre valores de 0 a 500 se establecen intervalos distinguidos por un código de colores. Cada uno muestra los efectos sobre la población por la exposición a las concentraciones de los contaminantes y permite un entendimiento mucho más simple de los datos reportados (Tabla 10).

Tabla 10. Descripción general del Índice de Calidad del Aire

ICA	Descripción de la calidad del aire	PM ₁₀
0-50	Bueno	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud
51-100	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles
101-150	Dañina para la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud Material particulado: las personas con enfermedad cardiaca o pulmonar, los adultos mayores y niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo
151-200	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Muy dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud
301-500	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.

Fuente: Res 2254/2017

Para el cálculo del índice se hará uso de la siguiente ecuación, enunciada en la Resolución 2254 de 2017. EL ICA será Determinado diariamente para tener conocimiento sobre cualquiera variación que se puedan presentar sobre la calidad del aire.

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} \times (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

En donde:

ICA_p = Índice para el contaminante p.

C_p = Concentración medida para el contaminante p.

PC_{alto} = Punto de corte mayor o igual a CP.

PC_{bajo} = Punto de corte menor o igual a CP.

I_{alto} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al PC_{alto}

I_{bajo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al PC_{bajo}

8.8 Costos

Finalmente se realiza una estimación de costos de implementación del sistema de vigilancia donde se tienen en cuenta los costos recurrentes y no recurrentes. La Tabla 11 muestra los costos de los equipos, donde se incluyen, además de los muestreadores de material particulado y variables meteorológicas, los artefactos necesarios para registrar y analizar las muestras que se obtienen en las diferentes estaciones de monitoreo.

Tabla 11. Costos de equipos

Equipo	Características	Costo x unidad	Cantidad	Valor total
High volume ambient PM10 air sampler	Marca: Tisch environmental Ref: TE-6070	\$ 14'349.000	3	\$ 43'047.000
Higrotermógrafo	Marca: Oakton Ref: WD-35701-00	\$ 1'185.721	1	\$ 1'507.721
Barómetro Aneroide Ojo De Buey doble cápsula	Marca: Raigo Ref: 28.8898	\$ 499.131	1	\$ 499.131
Pluviómetro Hellmann 200cm2	Marca: Lambrecht Ref: 00.15000.000000	\$ 919.090	1	\$ 919.090
Anemómetro valeta	La Crosse Ref: TX23IT	\$ 146.641	1	\$ 146.641
Computador	Procesador Intel® Core™ i7	\$ 1'879.000	1	\$ 1'879.000
TOTAL				\$47'998.583

Nota: Los costos de los equipos fueron convertidos a moneda local teniendo en cuenta el valor del dólar y del euro del día 18 de septiembre.

Fuente: elaboración propia, 2018

En la Tabla 12 y Tabla 13 se muestran los recursos que deberán ser dispuestos de forma mensual para el correcto funcionamiento seguimiento del SVCA. En este se incluyen los recursos humanos necesarios y otros costos necesarios para el análisis de las muestras.

Tabla 12 Costos Recursos Humanos

Personal	Labor	Horas mensuales	Costo/hora	Cantidad	Valor total
Coordinador general	Coordinación del funcionamiento SVCA	160 h	15.600	1	\$2'496.000
Técnico de equipos	Mantenimiento e inspecciones de equipos	80 h	\$5.200	1	\$416.000
Analista de campo	Toma de muestras	80 h	\$7.800	1	\$624.000
Ingeniero ambiental	Reporte de datos	80 h	\$10.400	1	\$832.000
TOTAL					\$4'368.000

Nota: Los valores establecidos se determinaron a partir del SMLV para el 2018 en Colombia

Fuente: elaboración propia, 2018

Tabla 13 Costos Análisis de muestras

Ítem	Características	Cantidad	Valor total
Transporte	Transporte aéreo de las muestras hacia el laboratorio	1	\$458.000
Pruebas en laboratorio	Análisis de las muestras de MP en laboratorio certificado	10	\$1'700.000
TOTAL			\$2'158.000

Fuente: elaboración propia, 2018

9. Conclusiones

- El diseño metodológico planteado fue el adecuado para llevar a cabo esta investigación, El enfoque mixto permitió entender las condiciones que influyen en el diseño del sistema de vigilancia ya que no todas las variables se basaban en datos cualitativos si no también cuantitativos. El procedimiento que se expuso fue llevado a cabo con rigurosidad y permitió completar con cabalidad cada uno de los objetivos tanto específicos como el general, que sirvieron como base para el desarrollo del proyecto.
- La identificación de las condiciones meteorológicas y topográficas de Leticia se logró llevar a cabo de forma completa gracias a la información recolectada por la estación meteorológica del aeropuerto Internacional Alfredo Vásquez Cobo donde se determinó por medio del análisis estadístico que la temperatura, humedad relativa promedio de Leticia son de 26°C, 88% respectivamente y debido a las altas precipitaciones en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se considera época húmeda en Leticia durante este periodo.
- A partir de la información anterior y teniendo en cuenta que la calidad del aire es considerada una problemática mundial, debido a los arrastres de los contaminantes por las direcciones y velocidades del viento, y así mismo representa una parte fundamental para el diseño un sistema de vigilancia; se pudo concluir que la contaminación de otras fuentes emisoras externas al municipio pueden no ser representativas en la calidad del aire del área de este estudio, debido a que la dirección del viento es proveniente del noroeste. Por lo anterior las emisiones de la ciudad de Tabatinga, ubicada al sur del municipio de Leticia no influyeron en la toma de decisiones para la formulación del SVCA.
- La determinación de las emisiones según la metodología planteada, por medio de la comparación de concentraciones, es un método que podría generar un alto error e incertidumbre. Sin embargo, debido a la falta de información tanto primaria como secundaria por parte tanto de las entidades públicas como privadas, no se pudo implementar un método mucho más preciso para conocer con exactitud las concentraciones de los contaminantes emitidos por cada una de las fuentes. No obstante, las aproximaciones realizadas proporcionaron un panorama general sobre posibles situaciones de contaminantes a los que se enfrenta actualmente Leticia, lo que permitió concluir con el segundo objetivo planteado en la investigación.
- Teniendo en cuenta que el sistema de vigilancia que se plantea es una primera instancia para abrir paso a nuevas investigaciones sobre el tema de calidad del aire, no se implementan más parámetros

de medición a parte del PM_{10} tal y como se estipula en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. A pesar de que el Amazonas puede poseer una gran cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles emitidos por fuentes naturales, en este caso los bosques, no existen estudios en esta área que sustenten la alta presencia de estos incrementando los niveles de ozono troposférico en el ambiente. La implementación de mediciones de ozono dentro del SVCA implicaría una inversión económica, por lo que si no hay estudios previos que sustenten la necesidad de realizar muestreos periódicos, no es factible para el municipio adquirir este tipo de instrumentos a menos que sea completamente necesario.

- Las estaciones de monitoreo fueron ubicadas en puntos estratégicos donde es posible realizar mediciones en tres situaciones diferentes. La presencia de principalmente fuentes móviles, la acumulación de diferentes emisiones en todo el municipio y finalmente un aire que se esperaría que fuera mucho más limpio ya que no posee influencia de emisiones cercanas y los vientos no arrastran los contaminantes debido a la poca predominancia de estos hacia la dirección donde se encuentra la mayor densidad de los contaminantes.

10. Recomendaciones

Por medio del análisis estadístico es posible implementar una rosa de polución que analiza las concentraciones de los contaminantes, la velocidad y la dirección del viento. Se recomienda implementar esta herramienta para determinar la real influencia que tiene la contaminación del municipio de Tabatinga en la calidad del aire de Leticia, ya que por su proximidad y la inexistencia de barreras naturales o artificiales entre los dos municipios que aíslan los contaminantes, es necesario asegurar con un método cuantitativo la influencia de las emisiones de la ciudad brasilera.

Se recomienda realizar dentro de cierto tiempo determinado, un fortalecimiento de la red de monitoreo debido a las crecientes problemáticas sobre deforestación que se están viviendo en suelo amazónico lo que ocasiona un deterioro más acelerado de la calidad del aire. Así mismo se espera que el municipio posea un incremento poblacional ocasionando un avance por parte de Leticia incorporando nuevas industrias u otros tipos de fuentes que contribuyan a las emisiones atmosféricas.

Una vez se tengan resultados sobre el estado de la calidad del aire es importante que la alcaldía municipal comience a formular propuestas para solucionar posibles problemáticas que se vean reflejadas por el seguimiento y monitoreo de la calidad del aire. Así mismo es imprescindible que las entidades ambientales competentes en la región del Amazonas se apropien más de las posibles problemáticas atmosféricas de estas zonas y divulguen información acerca del estado de esta en las diferentes poblaciones del territorio.

11. Bibliografía

- Aprilaire. (2013). *Relative Humidity Defined*. USA: Division of research products corporation.
- Arellano, P. T. (2017). *Plant Family-Specific Impacts of Petroleum Pollution on Biodiversity and Leaf Chlorophyll Content in the Amazon Rainforest of Ecuador*. Ecuador: PLOS one.
- Ballester, F. (2005). *Contaminacion Atmosferica, cambio climatico y salud*. Valencia: Unidad de epidemiologia y estadística.
- Barros, J. (20 de octubre de 2017). El 'Tuk Tuk', un motocarro que abunda en las calles de la selvática ciudad de Leticia. Leticia, Amazonas, Amazonas.
- Castro, P., & Escobar, L. (2006). *Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión*. Bogotá D.C: Universidad de la salle.
- Cerda, H. (1991). capítulo 7 MEDIOS, INSTRUMENTOS, TÉCNICAS Y MÉTODOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN. En *Los elementos de la investigación* (págs. 235-339). Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA.
- Chang, N., & Tseng, C. (1999). OPTIMAL DESIGN OF A MULTI-POLLUTANT AIR QUALITY. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121-148.
- Comunidad de Madrid. (2013). *Evaluación de las emisiones difusas mediante la utilización de captadores pasivos*. Madrid.
- Cortés, J. (2013). *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL AIRE AMBIENTE DE MANIZALES POR COPs Y PM10*. Manizales: Universidad Nacional.
- Cortés, J. d. (2013). *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL AIRE AMBIENTE DE MANIZALES POR COPs Y PM10*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- DNP. (2008). *Documento CONPES 3943*. Bogotá.
- EPA. (1994). *Quality assurance handbook for air pollution measurement systems*. Washington DC: Office of research and development.
- EPA. (16 de 08 de 2008). *Methodologies and Instrumentation for Particulate Matter Sampling*. USA.
- Epm. (2012). *Informe Técnico Final Aeropuerto Benito Salas-Neiva*. Neiva: Aeronautica civil.
- FAES. (1985). *Contaminacion del aire*. Medellin: Universidad Nacional.
- Garreaud, R., & Meruane, C. (2005). *Instrumentos Meteorológicos y humedad relativa*. Santiago de Chile: DGF Universidad de Chile.
- GÓMEZ, N. A. (2012). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2012-2016*. leticia amazonas: Alcaldia municipal.
- Guillen, A. (2014). Aplicación de Correlación en la Investigación. *International Journal of Good Conscience*, 18-23.
- Heggies. (2009). *Air Quality Impact Assessment Proposed Crematorium Tuggeranong, ACT*. Canberra : Heggies Pty Ltd.
- Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satelites de Teledetección para la gestión del territorio*. Canarias: Litografia Romero.
- Landrigan, P., & Fuller, R. (2015). Environmental pollution: an enormous and invisible burden on health systems in low-and middle income countries. *World Hosp Health Serv*, 35-41.
- Latini, G., Passerini, G., & Tascini, S. (2004). Influence of building-downwash effect on urban traffic pollution. *Air Pollution XII*, 581-589.
- Liu, J.-H. (2012). AN AIR QUALITY MONITORING SYSTEM FOR URBAN AREAS BASED ON THE TECHNOLOGY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS. *INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS*, 191-214.

- Londoño, L. A., Cañón, J. E., & Ocampo, J. D. (2016). modelo de proximidad espacial para definir sitios de muestreo en redes urbanas de calidad de aire. *Fac. Nac. Salud publica*, 35(1), 109-120.
- Lopez, C., & Sanchez, M. (2007). *DIAGNÓSTICO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS EN COLOMBIA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA DE EMISIÓN DE FUENTES FIJAS*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- MADS. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Bogotá: ISBN.
- MADS. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Bogotá: ISBN.
- Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas*. Mexico D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mazzeo, N. (S.F). *Red de monitoreo de calidad del aire para áreas urbanas: diseño y representatividad espacial*. Buenos Aires: CONICET.
- Molina, O. J. (2013). *Desarrollo de una metodología para evaluar la cobertura espacial de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Napoleón Franco. (2013). *cuarta Encuesta de Percepción, Amazonas 2030*. Amazonas: IPSOS.
- Ortolani, C. &. (2016). The importance of local scale for assessing, monitoring and predicting of air quality in urban areas. *ELSEVIER*, 150-160.
- Perdomo, A. (2016). *Documento preliminar plan de desarrollo municipal 2016-2019*. Leticia, Amazonas: Alcaldía Municipal.
- Rojas, A., & Ibarra, J. (2004). *La degradación del suelo y sus efectos sobre la población*. Asunción: Población y desarrollo.
- Ruiz, M. I. (2011). *POLITICAS PÚBLICAS EN SALUD Y SU IMPACTO EN EL SEGURO POPULAR EN CULIACÁN, SINALOA, MÉXICO*. Sinaloa: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta ed.). México D.F: McGRAW-HILL.
- Serrano et al. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. Chile: Comisión nacional del medio ambiente.
- Serrano, M. L. (2006). *Diseño de la red de evaluación y seguimiento de la calidad del aire para la ciudad de neiva – huila*. Bogotá D.C: UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
- Su, j., & Larson, T. (2007). Spatial Modeling for Air Pollution Monitoring Network Design. *Air & Waste Management Association*, 893–900.
- Szigety, E., & Viau, J. (2012). Tension superficial: un modelo experimental con materiales sencillos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 393-400.
- Taylor, N. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Bogotá: Universidad de los andes.
- Vardoulakis, S., Fisher, E., Pericleous, & Flesca, G. (2002). Modelling air quality in street canyons: a review. *ELSEVIER*, 155-182.
- Vincent, K., & Stedman, J. (2013). *A review of air quality station type classifications for UK compliance monitoring*. Oxfordshire: Ricardo-AEA.
- WHO. (2013). *Health effects of particulate matter*. UN city: WHO Regional Office for Europe.
- Yassi, A. (2002). *Salud ambiental Básica*. Mexico: INHEM.
- Zapata, C. E. (2008). Fortalecimiento de la red de monitoreo de la calidad del aire en el valle de aburra con medidores pasivos. *Gestion y ambiente*, 11(1), 67-84.