



Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS”

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORAS:

Lorena Hortencia González Espinoza
C.I. 1150337432
loreh.gonzaleze@gmail.com

Andrea Cristina Sánchez Carrión
C.I. 0105711279
as413463@gmail.com

DIRECTORA:

Ing. Diana Lucía Moscoso Vanegas, PhD
C.I. 0102339454

Cuenca, 11 febrero de 2021



Resumen

En el cantón Cuenca, una de las principales fuentes generadoras de empleo e ingresos económicos es el parque industrial a través de la ejecución de sus actividades manufactureras, estas a su vez generan emisiones de gases y partículas contaminantes. La presente investigación consistió en el análisis de la contaminación del aire por material particulado sedimentable (PTS), a fin de verificar si las concentraciones cumplen con la normativa ecuatoriana vigente, su influencia en la zona de estudio y en la población, además de su relación con los factores meteorológicos. La zona de muestreo correspondió al sector del parque industrial y sitios aledaños, durante el periodo Septiembre - Octubre 2020 y se analizó un total de 40 puntos. Para la recolección de las muestras se empleó el método de muestreo pasivo y su análisis mediante el método gravimétrico, los valores obtenidos de PTS se correlacionaron con variables como temperatura, precipitación, humedad, velocidad y dirección del viento, la dispersión del contaminante se representó gráficamente y por último se aplicaron encuestas a los habitantes para conocer la influencia social. Los resultados indicaron que los puntos de mayor concentración durante todo el estudio se localizaron dentro del parque industrial y en su mayoría superan los límites máximos establecidos, se observó que el contaminante se distribuye en su mayoría al oeste y centro de la zona de estudio, además se obtuvo una relación baja con respecto a las variables meteorológicas.

Palabras clave

Material particulado sedimentable. Calidad del aire. Parque industrial.



Abstract

In the canton Cuenca, one of the main sources of employment and economic income is the industrial park through the execution of its manufacturing activities, which in turn generate emissions of polluting gases and particles. This research consisted of the analysis of air pollution by sedimentable particulate matter (PTS), to verify whether concentrations comply with existing Ecuadorian regulations, their influence in the study area and population, in addition to their relationship to weather factors. The sampling area corresponds to the industrial park sector and neighboring sites, during the period September - October 2020 and a total of 40 points were analyzed. For sample collection, the passive sampling method and its analysis using the gravimetric method were used, the values obtained from PTS correlated with variables such as temperature, precipitation, humidity, speed and wind direction the dispersion of the pollutant was represented graphically and finally surveys were applied to the inhabitants to learn about the social influence. The results indicated that the points of greatest concentration throughout the study were located within the industrial park and mostly exceed the maximum limits set, it was observed that the pollutant is mostly distributed to the west and center of the study area, and a low ratio was obtained with respect to weather variables.

Key words

Sedimentable particulate material. Air quality. Industrial park.



Tabla de Contenido

Resumen.....	2
Abstract	3
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	14
1.1 Tema de investigación.....	14
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivos	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Contaminación atmosférica	16
2.2 Material Particulado	17
2.3 Clasificación del Material Particulado	17
2.4 Material particulado sedimentable.....	17
2.5 Efectos del material particulado sedimentable.....	18
2.5.1 En el medio ambiente.....	18
2.5.2 En la salud humana	19
2.6 Condiciones meteorológicas que influyen en la dispersión de contaminantes .	19
2.6.1 Precipitación	19
2.6.2 Velocidad del viento	19
2.6.3 Dirección del viento.....	19
2.6.4 Temperatura.....	20
2.6.5 Humedad relativa.....	20
2.7 Normativa Nacional e Internacional.....	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	21
3.1 Tipo de Investigación.....	21
3.2 Zona de estudio.....	21
3.3 Selección de los puntos de muestreo	22
3.4 Material Particulado Sedimentable	24
3.4.1 Recolección de muestras	24
3.4.2 Análisis	24
3.5 Información meteorológica	25
3.7 Representación espacial	26
3.8 Análisis estadístico.....	26
3.9 Encuestas.....	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28



4.1 Material Particulado Sedimentable	28
4.2 Análisis estadístico.....	32
4.3 Representación espacial: método de interpolación IDW	34
4.4 Encuesta.....	36
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.1 Conclusiones.....	41
5.2 Recomendaciones.....	41
6. BIBLIOGRAFÍA	42
7. ANEXOS.....	46
7.1 Instalación de los puntos de monitoreo	46
7.2 Recolección de las muestras	47
7.3 Análisis de las muestras	48
7.4 Modelo de Encuesta	49
7.5 Realización de Encuestas	51
7.6 Datos meteorológicos.....	52
7.7 Resultados de la interpolación de los datos meteorológicos.....	54
7.8 Concentración de material particulado sedimentable obtenido durante el estudio	56

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio	21
Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo	22
Figura 3. Comparación de los valores de PTS primer muestreo con la normativa.....	30
Figura 4. Comparación de los valores de PTS segundo muestreo con la normativa	31
Figura 5. Comparación de las concentraciones obtenidas de PTS durante los dos muestreos	31
Figura 6. Distribución de PTS en la zona de estudio primer muestreo	35
Figura 7. Distribución de PTS en la zona de estudio segundo muestreo.....	35
Figura 8. Calidad del aire	36
Figura 9. Nivel de preocupación.....	36
Figura 10. Aspecto de afectación.....	37
Figura 11. Nivel de afectación a la salud.....	37
Figura 12. Afecciones a la salud	38
Figura 13. Grupos humanos afectados	38
Figura 14. Fuentes de emisión.....	39
Figura 15. Efectos de PTS.....	40



Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de los puntos de monitoreo seleccionados	23
Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas	25
Tabla 3. Interpretación de los coeficientes de correlación	27
Tabla 4. Resultados de la concentración de PTS primer muestreo	28
Tabla 5. Resultados de las concentraciones de PTS segundo muestreo	29
Tabla 6. Resultados de correlación de variables meteorológicas y concentración del contaminante durante los dos muestreos.....	33



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Lorena Hortencia González Espinoza, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 11 febrero de 2021

Lorena Hortencia González Espinoza

C. I: 1150337432



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Yo, Andrea Cristina Sánchez Carrión, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca, 11 febrero de 2021

Andrea Cristina Sánchez Carrión

C. I: 0105711279



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Lorena Hortencia González Espinoza, autora del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 febrero de 2021

A handwritten signature in blue ink, reading 'Lorena H. González E.', written over a horizontal line.

Lorena Hortencia González Espinoza

C. I: 1150337432



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Andrea Cristina Sánchez Carrión, autora del trabajo de titulación "DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 febrero de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrea Sánchez', written over a horizontal line.

Andrea Cristina Sánchez Carrión

C. I: 0105711279



Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios y a la virgencita de El Cisne por ser los guías de mi vida y por darme la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, Hortencia y Enrique por sus enseñanzas, por apoyarme siempre, por su sacrificio y amor incondicional, son mi motivación para ser constante en lo que quiero, los amo.

A mis hermanos: Marlene, Freddy, Johanna, July y Carlos, por apoyarme en todo, no lo hubiera logrado sin ustedes.

A mi compañera de tesis Andrea, por la compañía, esfuerzo y dedicación a lo largo de todo este camino. Este logro es de las dos, solo nosotras sabemos lo que nos costó llegar hasta aquí.

LORENA GONZÁLEZ



Dedicatoria

Agradezco primero a dios, por haberme dado la vida y guiarme en todo momento.

A mis padres: Luz y Hermel por inculcarme valores, por sus valiosos consejos, por el apoyo incondicional, por festejar mis triunfos y ayudarme a superar mis fracasos, por ser el pilar fundamental de mi vida, por repetirme cada vez que puedo lograr lo que me proponga y sobre todo por su sacrificio y amor.

A mi hermano Cristian por su apoyo, consejos y cariño, gracias ñaño.

A mi compañera de tesis Lorena, por la compañía, esfuerzo y dedicación a lo largo de todo este camino, que para nada fue fácil, amiga este logro es de las dos, no pude haber tenido mejor compañía.

ANDREA SÁNCHEZ



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos fuerza y salud para poder alcanzar esta meta.
A nuestras familias: González Espinoza y Sánchez Carrión, por su apoyo incondicional, consejos y motivación.
A la Ingeniera Diana Moscoso PhD., nuestra directora de tesis. Por la paciencia, confianza, consejos, por brindarnos sus conocimientos y su tiempo para la realización de la presente investigación.
Al Biólogo Danilo Mejía, docente de la Facultad de Ciencias Químicas, por sus recomendaciones, conocimientos y tiempo para la ejecución de la presente investigación.
A la Universidad de Cuenca y a la Escuela de Ingeniería Ambiental, por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales, por la colaboración con información, espacio e insumos necesarios para llevar a cabo esta investigación.
A la Universidad Politécnica Salesiana, por su ayuda y colaboración con información necesaria para el desarrollo de la presente investigación.
A todas las personas, amigos y empresas, en especial a July, Luz y Luis que nos ayudaron en la recolección de datos e información para el desarrollo de la presente investigación.
A todos nuestros amigos y compañeros de Universidad, que marcaron nuestras vidas con sus alegrías y ocurrencias, por ayudarnos a no decaer en el camino. Gracias por todas historias vividas, quedarán en nuestra memoria.

A todos ustedes nuestro más profundo agradecimiento.

Lorena González
Andrea Sánchez



CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1 Tema de investigación

“DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PROVENIENTE DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN CUENCA Y SU INFLUENCIA EN LAS ZONAS ALEDAÑAS”

1.2 Justificación

Al ser Cuenca un cantón con gran desarrollo industrial, las actividades del parque industrial resultan importantes, principalmente por la generación de empleos que ha permitido el progreso económico y social de la urbe. Sin embargo, estas labores también producen efectos adversos sobre el ser humano y el ambiente, pues la industria es uno de los principales focos de contaminación y deterioro ambiental (Tobar, 2020).

El aire es uno de los compartimentos ambientales más afectados por esta actividad, ya que, por la liberación de altas cantidades de compuestos y sustancias como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, hidrocarburos y ozono superficial (Schraufnagel et al., 2018), se impide el proceso natural de auto purificación. Dichas sustancias se mezclan y forman el material particulado que se clasifica de acuerdo a su diámetro aerodinámico en Partículas Suspendidas Totales, Inhalables o respiratorias PM_{10} , finas $PM_{2.5}$ y ultra finas (Sbarato et al., 2000).

El material particulado sedimentable (PTS) por su diámetro aerodinámico sedimenta con facilidad generando problemas ambientales y sociales, puede ocasionar enfermedades en la población como bronquitis o enfermedades cardiovasculares, corrosión y daños en los materiales de construcción de los domicilios y alteración o empobrecimiento del paisaje de las zonas aledañas a su emplazamiento principalmente (Bermeo, 2016).

La generación de problemas sociales se evidencia especialmente a través de quejas por parte de la ciudadanía emplazada en la zona del parque industrial y que son formalmente presentadas a la Comisión de Gestión Ambiental CGA mediante denuncias acerca de la presencia de estas partículas en sus viviendas. Esta situación resulta compleja ya que no se ha determinado con exactitud qué empresas la generan, además de que no existen suficientes estudios que analicen este tema (Morales, 2019).

Con base a esta información se considera adecuada la presente investigación, que se fundamenta en el monitoreo pasivo de material particulado sedimentable en el parque industrial y zonas aledañas, a fin de conocer la influencia social, dispersión, relación con los factores meteorológicos y por último verificar el cumplimiento de la legislación ecuatoriana.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Determinar la concentración de material particulado sedimentable en el parque industrial del cantón Cuenca y en zonas aledañas al mismo.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar si existe relación entre los factores meteorológicos y la concentración del material particulado sedimentable.
- Identificar la influencia social del material particulado sedimentable en el parque industrial y zonas aledañas.
- Identificar la zona de influencia del material particulado sedimentable.
- Determinar la calidad del aire en la zona de estudio.



2.1 Contaminación atmosférica

El aire es una mezcla de gases que contiene aproximadamente un 78 % de nitrógeno, 21 % oxígeno y 1 % de otros gases como argón y dióxido de carbono (Cruz y Jimenez, 2006). Esta composición puede ser alterada dando lugar a la contaminación atmosférica que hace referencia a la existencia de elementos en el aire que pueden afectar negativamente a las personas, bienes y demás formas de vida de la Tierra (Gutierrez et al., 2012).

Los contaminantes provienen de diversas fuentes, y cada una puede tener características diferentes según la composición y las condiciones en las que se produjeron, a continuación, se presenta la clasificación de fuentes contaminantes con el criterio de fijas y móviles.

- Fuentes Fijas: a su vez estas se subclasifican en:

-Fuentes Puntuales: son aquellas ligadas a la generación de electricidad y actividades industriales como: madera, metalurgia, mecánica, alimentos, entre otras. Estas emisiones son generadas por la quema de combustibles fósiles y generan como resultado dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos.

-Fuentes de Área: son fuentes pequeñas que se encuentran dispersas y generan una escasa cantidad de emisiones pero que contienen un gran número de contaminantes que afectan a la salud, por ejemplo, artes gráficas, panadería, entre otras. En esta categoría también se encuentran las emisiones generadas por rellenos sanitarios, plantas de compostaje.

-Fuentes Naturales: son aquellas emisiones producidas por la vegetación y actividades microbianas tanto en suelo como agua, produciendo generalmente metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados.

- Fuentes Móviles: a esta categoría pertenecen todo tipo de medio de transporte que utilice motor de combustión a gasolina o diésel (INECC, 2017).

Entre los gases comunes que contaminan el aire se incluyen: óxidos de azufre (principalmente dióxido de azufre [SO_2]), óxidos de nitrógeno (especialmente óxido nítrico y dióxido de nitrógeno [NO_2]), hidrocarburos reactivos (a menudo denominados compuestos orgánicos volátiles) y monóxido de carbono (CO), que son liberados directamente a la atmósfera, desde fuentes fijas y móviles principalmente y se denominan "contaminantes primarios". Los contaminantes gaseosos también pueden formarse en la atmósfera, en gran parte a partir de los contaminantes primarios y se denominan "contaminantes secundarios" (Schraufnagel et al., 2018). Además de los gases, las partículas suspendidas son otro tipo principal de contaminante que causa alteración al medio ya que genera la disminución de visibilidad en el aire.



2.2 Material Particulado

El material particulado (PM) consiste en mezclas de partículas sólidas y líquidas en las que se incluye sustancias químicas, compuestos orgánicos e inorgánicos y componentes biológicos (patógenos y alérgenos) que se encuentran suspendidas en el aire, (Aziz et al., 2018). Este material está relacionado con el aumento de la morbilidad, la mortalidad y la disminución de la esperanza de vida (Cao et al., 2014).

Las fuentes de PM pueden ser naturales y antropogénicas. Las principales fuentes antropogénicas resultan de la combustión de combustibles fósiles en los procesos mecánicos e industriales, las emisiones de vehículos, la erosión del pavimento por carretera, la abrasión de los frenos y neumáticos, y el humo del tabaco. Las fuentes naturales incluyen volcanes, erosión de las rocas, incendios forestales, tormentas de polvo, polen y la sal marina en aerosol. Algunas de estas partículas se emiten a la atmósfera directamente de las fuentes (PM primaria), mientras que otras se forman en la atmósfera (PM secundaria) como resultado de los siguientes procesos: condensación de gases o vapores, reacciones químicas atmosféricas, asentamiento en el suelo y la lixiviación debido a la precipitación. Los principales gases precursores para PM secundaria son SO_2 , NO_x , NH_3 y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Wardencki y Bielawska, 2016).

2.3 Clasificación del Material Particulado

Se clasifica generalmente por su tamaño o diámetro aerodinámico en: a) partículas finas, poseen un diámetro menor que $2,5 \mu\text{m}$, b) partículas gruesas, su diámetro está comprendido entre $2,5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$ y se les denomina aerosoles respirables y finalmente c) partículas suspendidas totales (PST) que hacen referencia al total de las partículas localizadas en el aire y pueden llegar a medir hasta $100 \mu\text{m}$, además adquieren la denominación de partículas sedimentables porque no permanecen por mucho tiempo en la atmósfera (González, 2012).

2.4 Material particulado sedimentable

Las partículas sedimentables, material sedimentable o polvo sedimentable (PTS) están compuestas por partículas de diferentes tamaños y composición química, presentes en el aire, las cuales se depositan por acción de la gravedad (deposición seca), y por contaminantes gaseosos o partículas no sedimentables arrastradas por la lluvia, también conocida como deposición húmeda (Fernández, 2001).

Por su peso estas partículas son propensas a precipitarse fácilmente, permaneciendo en la atmósfera por cortos periodos de tiempo. Además, las condiciones meteorológicas como velocidad y dirección del viento, frecuencia de lluvias, entre otras, influyen en gran medida en el transporte y deposición de las mismas (Fernández, 2001). Se originan básicamente por el rompimiento de grandes partículas en procesos tales como: trituración, pulverización, perforaciones, explosiones; en la mezcla de materiales y operaciones como: transporte, tamizado, barreduras (Corleto y Dania, 2012).



Las fuentes de emisión de este contaminante pueden ser naturales o antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran: erosión del suelo, material biológico fraccionado, erupciones volcánicas, incendios forestales, etc. y entre las antropogénicas: combustión de productos derivados del petróleo, actividades derivadas de la construcción, desgaste de los neumáticos, el polvo de las vías, fuentes móviles como los vehículos en donde se dan los procesos de combustión, quemas en campos agrícolas y diversos procesos industriales (Ayala y Ochoa, 2011).

2.5 Efectos del material particulado sedimentable

El material particulado sedimentable puede ser potencialmente dañino para el medio ambiente y para la salud humana. Sus efectos dependen de la concentración, de la presencia de más de un contaminante y especialmente de la composición variada que presenta, ya que algunos componentes podrían considerarse como nutrientes para el suelo o trazadores en mecanismos de transferencia, pero otros elementos pueden resultar nocivos (Villacrés, 2015).

2.5.1 En el medio ambiente

- **Materiales:** En primer lugar, este contaminante provoca un efecto negativo sobre la estética debido al ensuciamiento que generan las partículas al depositarse sobre superficies de casas, edificios, metales, monumentos, etc. (Villacrés, 2015). Estas partículas también actúan como catalizadores sobre superficies metálicas, favoreciendo su oxidación. Además, pueden absorber gases como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan con la humedad del entorno y forman partículas de ácido sulfúrico o nítrico. Estos ácidos corroen los materiales de construcción, edificios y monumentos (Ayala y Ochoa, 2011).

- **Clima:** Las partículas reflejan y absorben parte de la energía solar, lo cual provoca un decremento de la temperatura en algunas regiones del planeta (Ayala y Ochoa, 2011).

- **Ecosistemas:** En plantas la deposición de partículas durante largos periodos de tiempo sobre varias de sus partes, puede provocar que éstas sean absorbidas causando variaciones en la fotosíntesis, crecimiento y reproducción.

En el suelo puede generar variaciones en la estructura, composición química y en el flujo de nutrientes y energía, impactando en las diversas especies en él habitan, además reduce su capacidad de degradación y la toma de nutrientes por las raíces de las plantas.

Además, altera las propiedades fisicoquímicas del agua e interviene significativamente en la formación del fenómeno de lluvia ácida que es uno de los factores que más afecta a los ecosistemas acuáticos (Villacrés, 2015).

- **Visibilidad:** El material particulado sedimentable en la atmósfera absorbe y disgrega la luz, provocando la disminución de la visibilidad (Arciniégas, 2012).



Los efectos del PTS en las personas están en función de la concentración, variación diaria y tamaño de las partículas, causan principalmente enfermedades respiratorias e incluso cáncer, esto se ve reflejado en la similitud entre el incremento de este contaminante con el de la mortalidad diaria, tasas de admisiones hospitalarias y casos de tos (Rodríguez, 2018).

2.6 Condiciones meteorológicas que influyen en la dispersión de contaminantes

La dispersión en la atmósfera de un contaminante está en función de algunas variables fundamentales como: a) condiciones meteorológicas: precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, b) condiciones en las que se genera la emisión, es decir, velocidad de salida y temperatura de gases, entre otros y c) condiciones topográficas (De Oca et al., 2010). Las variables meteorológicas no solo influyen en la dispersión y propagación del contaminante pues también son responsables de su deposición y remoción (Vidal et al., 2018), la eficiencia de remoción de contaminantes depende principalmente de características como: diámetro de la partícula, composición química, propiedades termodinámicas y la fuente emisora (Arrieta y Fuentes, 2016).

2.6.1 Precipitación

La precipitación genera un efecto de lavado de contaminantes en la atmósfera, permitiendo así que estos sean retirados y arrastrados hacia el suelo (Díaz et al., 2014). Durante épocas de lluvia existe una baja concentración de contaminantes en el aire por ende una menor contaminación. En el caso de los metales pesados la remoción es mucho menor debido a que se encuentran en la atmósfera en forma de óxidos insolubles en agua, pudiendo hasta llegar a aumentar su concentración (Chávez, 2018).

2.6.2 Velocidad del viento

Se denomina como viento al movimiento horizontal del aire, permite el desplazamiento y dispersión de contaminantes, mientras mayor es su velocidad, mayor también es el volumen desplazado por unidad de tiempo, sobre la fuente emisora de contaminación, por lo tanto, se produce una mayor dispersión del mismo, su ausencia produce acumulación del contaminante cerca de las fuentes, además indica el tiempo de viaje de estas sustancias desde la fuente emisora hasta los receptores. Cuando se presentan condiciones de inestabilidad atmosférica los contaminantes se desplazan hacia la superficie generando concentraciones relativamente altas de contaminantes a nivel del suelo (Venegas y Mazzeo 2012).

2.6.3 Dirección del viento

Señala la zona hacia la que se pueden desplazar los contaminantes, si la dirección del viento cambia continuamente, los contaminantes se desplazan sobre una mayor área, por lo tanto la concentración disminuye, al contrario, si la dirección es la misma, el área de desplazamiento será menor y la concentración mayor, generando altos niveles de contaminación en la zona expuesta (Gallo y Paredes, 2019).



2.6.4 Temperatura

El movimiento de masas de aire y partículas en suspensión están influenciados por la variación de temperatura y presión. Cuando la capa límite planetaria o mejor conocida como la capa baja de la atmósfera presenta buenas condiciones de mezclas, la temperatura del aire seco se reduce en 1°C por cada 100 m de elevación. Cuando la temperatura de salida de los gases de combustión es mayor a la temperatura del medio y la densidad de los gases es baja, estos se dispersan con mayor facilidad ya que puede traspasar a la zona alta de la atmósfera, pero cuando la temperatura de salida es menor a la del medio, los gases no pueden ascender, por lo tanto, se ven obligados a dispersarse en la capa baja de la atmósfera. Entonces, mientras mayor sea la temperatura de salida de los gases mejor será la dispersión de los mismos (Chávez, 2018).

2.6.5 Humedad relativa

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua real que se encuentra en el aire, indica que tan cerca está el aire de su saturación. Este factor meteorológico no influye directamente en la dispersión de los contaminantes, pero si se relaciona con la temperatura de una manera inversa, ya que, a mayor temperatura, la humedad relativa disminuye produciendo que exista una mayor concentración de vapor de agua en el aire. En cambio, si la temperatura desciende la humedad relativa aumenta ocasionando una deposición húmeda, es decir arrastrando a los contaminantes hacia el suelo a través de la lluvia (González y Torres 2015).

2.7 Normativa Nacional e Internacional

El Ecuador a fin de controlar la calidad de aire ambiente y prevenir la contaminación ha establecido la Norma de Calidad de Aire Ambiente (NECA) en el anexo IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Su finalidad primordial es proteger la salud de la población, el bienestar de todos los ecosistemas y la calidad del aire, para lograr el cumplimiento de estos objetivos se han planteado límites máximos permisibles de los distintos contaminantes en el aire analizados a nivel del suelo, además de técnicas que permiten determinar su concentración.

Entre los contaminantes analizados por esta norma se encuentran: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, oxidantes fotoquímicos y material particulado sedimentable. Para este último se ha establecido como valor máximo permisible 1 mg/cm² * 30 días en una muestra colectada durante 30 días de manera continua.

Internacionalmente, la normativa establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su actualización del año 2015 no se establece el valor límite para material particulado sedimentable, solo para PM₁₀ y PM_{2.5}, para una media de 24 horas y un año.

3.1 Tipo de Investigación

El estudio se realizó en el parque industrial del cantón Cuenca y en sus zonas aledañas, en vista de la gran cantidad de industrias que aquí se encuentran emplazadas y por las quejas de los moradores debido a la concentración de material particulado sedimentable que afecta a sus viviendas y salud (Morales, 2019).

Exploratorio: el tema no ha sido analizado a profundidad, además de servir como información base para futuras investigaciones.

Correlacional: se correlacionó los parámetros meteorológicos con el material sedimentable para conocer su relación.

De campo: se realizó monitoreo pasivo y encuestas para obtener datos e información que permitirá entender la problemática.

3.2 Zona de estudio

Descripción y ubicación geográfica.

El área de estudio corresponde al sector del parque industrial y sus zonas aledañas en un área de 700 metros a la redonda (figura 1).

El parque industrial se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, al norte del cantón Cuenca, en las coordenadas geográficas: 724877.00 m E, 9681750.00 m S, y tiene una extensión de 79,31 ha. La superficie total del área de estudio corresponde a 503,71 ha.

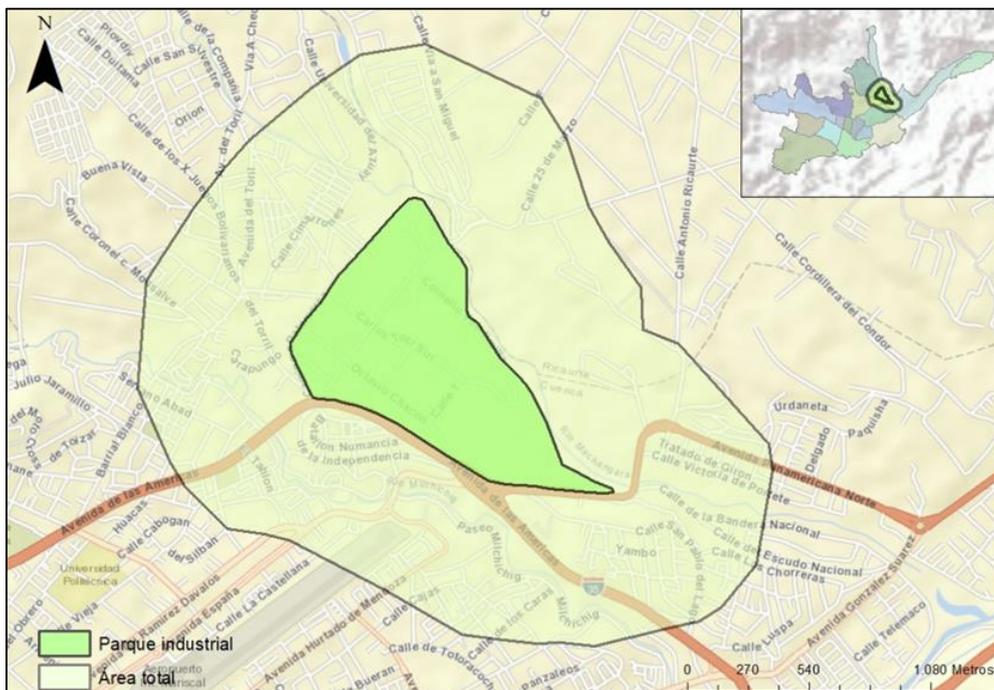


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: Autoras

Según el Inventario de fuentes fijas de combustión realizado por Aguirre y Machado en el año 2015, el parque industrial cuenta con un total de 121 actividades productivas o empresas, de las cuales 32 emiten contaminación al ambiente por medio de calderas.

3.3 Selección de los puntos de muestreo

Para establecer los puntos de muestreo primero se dibujó el área de estudio en el software “Google Earth Pro”, dividiéndola en dos polígonos, polígono menor y mayor correspondientes al parque industrial y las zonas aledañas respectivamente. Posteriormente se importó al software “ArcGis 10.5” en el que se realizó una grilla de 250 x 250 metros, en cada cuadrante obtenido se colocó un punto central que representa el punto de medición y en el caso de ser necesario se podía colocar más de un punto, como resultado se obtuvo un total de 66 puntos, así como se observa en la figura 2 A.

Para que los puntos sean válidos se evaluaron en función de las características que debe cumplir un sitio de muestreo como son: estar libre de vegetación y barreras físicas, accesibilidad permanente y libre de vandalismo, pudiendo así ser descartados o modificados algunos de ellos. Luego de realizar un recorrido al área de estudio se determinó que algunos puntos debían ser descartados debido a que se encontraban en zonas con gran cantidad de vegetación, además debido a la repentina emergencia sanitaria se impidió el ingreso a algunos lugares que previamente estaban autorizados, siendo un total de 40 punto finales: 16 en el polígono menor referente al parque industrial (2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 17, 18, 21, 24, 25, 26, 36, 37 y 38) y 24 en el polígono mayor (1, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, como se observa en la figura 2 B.

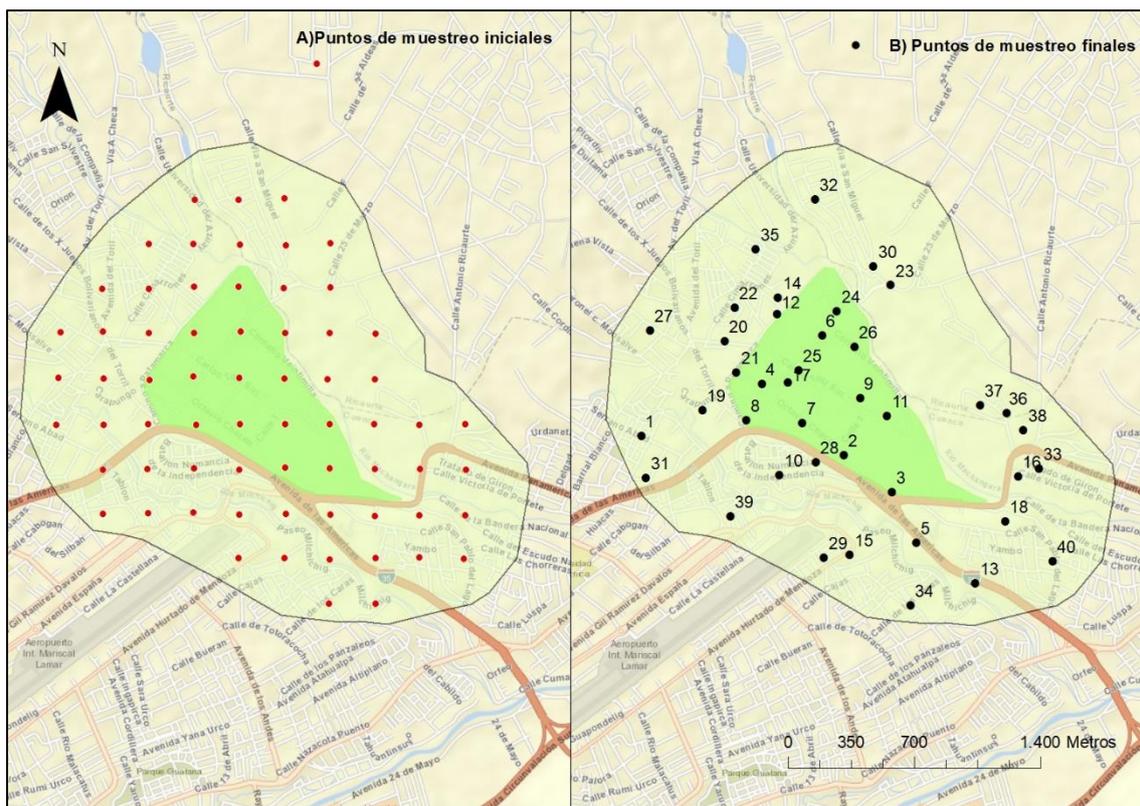


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo

Fuente: Autoras



Universidad de Cuenca

A continuación, en la Tabla 1 se describe y detalla la ubicación geográfica de los puntos de muestreo seleccionados para este estudio:

Tabla 1. Descripción de los puntos de monitoreo seleccionados

PUNTOS	COORDENADAS		Descripción
	Coord. X	Coord. Y	
1	723860.00	9681560.00	Calle Arízaga Serrano Abad
2	724981.00	9681453.00	Calle Octavio Chacón Moscoso
3	725249.00	9681248.00	Calle Octavio Chacón Moscoso
4	724527.00	9681850.00	Calle Octavio Chacón Moscoso
5	725383.00	9680967.00	Avenida De las Américas
6	724861.00	9682120.00	Calle Cornelio Veintimilla
7	724752.00	9681633.00	Calle Octavio Chacón Moscoso
8	724443.00	9681649.00	Calle Río Machángara
9	725071.00	9681774.00	Calle Surocucho
10	724625.10	9681343.29	Calle Gral. Mires
11	725221.00	9681673.00	Calle Cornelio Veintimilla
12	724612.00	9682240.00	Calle Paseo Río Machángara
13	725709.00	9680741.00	Avenida De las América
14	724618.00	9682333.00	Calle Pucarumi
15	725014.00	9680899.00	Avenida Hurtado de Mendoza
16	725946.00	9681335.00	Calle Victoria del Portete
17	724671.00	9681859.00	Calle Cornelio Veintimilla
18	725872.88	9681087.11	Calle Carlos Tosi Siri
19	724198.00	9681703.00	Avenida de Toril
20	724322.01	9682091.54	Calle Cimarrones
21	724387.00	9681916.00	Calle Octavio Chacón Moscoso
22	724377.00	9682276.00	Calle Cajanuma
23	725241.00	9682402.00	Calle 25 de Mayo
24	724943.00	9682256.00	Calle Juan Eljuri Chica
25	724731.00	9681928.00	Calle Cornelio Veintimilla
26	725040.00	9682059.00	Calle Cornelio Veintimilla
27	723909.62	9682150.50	Calle Francisco Cueto
28	724825.00	9681416.00	Calle Batallón Numancia
29	724872.00	9680883.00	Calle Sageo
30	725145.00	9682506.00	Calle Edmundo Granda Ugalde
31	723887.00	9681327.00	Calle A. Machado
32	724822.96	9682880.02	Calle Alberto Alvarado Cobos
33	726061.00	9681380.00	Calle Tratado de Girón
34	725349.95	9680616.32	Calle de los Colorados
35	724494.83	9682602.98	Calle Cimarrones
36	725881.00	9681689.00	Calle Antonio Ricaurte
37	725735.00	9681734.00	Panamericana Norte
38	725975.00	9681592.00	Calle Antonio Ricaurte
39	724354.00	9681114.00	Calle Peredones
40	726136.00	9680864.00	Calle San Pablo del Lago

Fuente: Autoras



3.4 Material Particulado Sedimentable

3.4.1 Recolección de muestras

La recolección de PTS se realizó en envases de 18,8 cm de alto y 16 cm de diámetro, estos fueron colocados a una altura de 2 y 3 metros desde el suelo.

Se realizó dos muestreos: el primero en el mes de septiembre y el segundo en octubre de 2020, teniendo como fecha de inicio el día 1 de septiembre y finalizando el 31 de octubre. El tiempo de muestreo para todos los puntos fue de 30 días ininterrumpidos, así como lo indica el Libro VI Anexo IV del TULSMA.

3.4.2 Análisis

Una vez las muestras en el laboratorio se procedió a su análisis, para lo cual se empleó el método gravimétrico establecido en el Anexo 4 del libro VI Acuerdo Ministerial 097A, el cual clasifica las partículas de la muestra en solubles e insolubles.

Las partículas insolubles se establecieron en función de la diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm, el mismo que retuvo las partículas provenientes del lavado de los envases que contienen la muestra. Para este análisis se siguió los siguientes pasos:

1. Primero se pesó el papel filtro para obtuvo un peso inicial.
2. Posteriormente este filtro se colocó en el interior de un embudo y se lo adhirió con ayuda de agua destilada.
3. A continuación, se vació toda el agua del recipiente en un balón de aforo a través del filtro, se consideró que si el recipiente que contenía el material particulado sedimentable tenía agua en su interior no era necesario colocar agua destilada, de lo contrario sí.
4. Luego el papel filtro se colocó en la estufa a una temperatura de 60 °C, durante dos horas.
5. Por último, se dejó enfriar el papel y se pesó.

Por otra parte, las partículas solubles se obtuvieron de la diferencia de peso ganado por una cápsula a continuación, se detallan los pasos seguidos:

1. Primero se pesó la cápsula vacía.
2. Se aforó el líquido del recipiente en 250 ml y se tomó una alícuota de 50 ml.
3. Luego en la cápsula se colocó la alícuota del lavado del recipiente.
4. Se introdujo la cápsula en la estufa a una temperatura de 60 °C hasta que toda el agua se evaporó, dejando en su interior el material soluble.
5. Por último, se dejó enfriar y se pesó.

Al sumar las partículas solubles e insolubles se obtuvo la concentración total de partículas sedimentables, además fueron normalizadas con respecto al área total de captación del recipiente, expresada en $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} * 30$ días. Para ello se utilizó la ecuación 1:



$$\text{Concentración Material sedimentable} = \frac{PTSS + PTSI}{\pi r^2} \quad (1)$$

Dónde: PTSS: fracción de material sedimentable soluble, PTSI: fracción de material sedimentable insoluble, r: radio del recipiente

Una vez obtenidas las concentraciones se procedió a corregirlas en función de las condiciones locales de la ciudad (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015), para la cual se utilizó la ecuación 2:

$$C_c = \frac{C_o \cdot 760 \text{ mm Hg}}{P_I \text{ mm Hg}} * \frac{(273+T \text{ }^\circ\text{C}) \text{ K}}{298 \text{ K}} \quad (2)$$

Dónde: C_c: concentración corregida, C_o: concentración observada, P_I: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio, °C: temperatura local, en grados Celsius.

Para este caso se tomó como referencia una temperatura de 15,6 °C y una presión de 560 mmHg.

3.5 Información meteorológica

La información referente a datos meteorológicos: temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento, se adquirió de las estaciones de la Universidad Politécnica Salesiana y Universidad de Cuenca, para los meses de septiembre y octubre 2020.

Se contó con valores diarios para cada variable, por lo que se procedió a promediar para tener un valor mensual. Posteriormente se interpoló los datos y se obtuvo valores meteorológicos para cada punto de muestreo, en la tabla 2 se observa la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Tabla 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estaciones Meteorológicas	COORDENADAS	
	Coord. X	Coord. Y
EL VECINO	723584	9680788
SECAP	724997	9681514
QUINGEO	729055	9664593
MOLLETURO	676435	9692152
BAÑOS	712899	9672817
TIXÁN	723027	9686678
CUMBE	719190	9656242
SAYAUSÍ	715974	9681200
SAN JOAQUÍN	714405	9680807
LLACAO	730418	9685180
SANTA ANA	730085	9672006
IRQUIS	713645	9659192
TURI	721103	9674971

Fuente: Autoras



3.7 Representación espacial

La representación espacial de la dispersión del contaminante en el área de estudio se realizó en el software "ArcGis 10.5" a través del uso de herramientas de información geográfica como la interpolación que permite modelar variables espaciales, predecir su comportamiento y determinar radios de influencia (Cely et al., 2002).

El método de interpolación aplicado corresponde al Inverso de la Distancia (IDW), que se basa en el supuesto de que las concentraciones en un determinado lugar se ven más afectadas por los sitios cercanos que por los distantes. Para predecir un valor en una ubicación no monitoreada, IDW usa las concentraciones disponibles en los sitios circundantes. La influencia local de cada punto medido disminuye con la distancia y para cada uno de los conjuntos de datos se calculan diferentes pesos (Tzanis, 2019). Además, presenta el efecto denominado "ojos de buey" que se refiere a la generación de aureolas en torno a los ciertos sitios monitoreados (Cañada et al., 2010), que pueden resultar útiles para visualizar puntos críticos de contaminación (Rodríguez, 2014).

Vorapracha et al. (2015) en su estudio realizado en Tailandia determinó que este método de interpolación es el mejor para predecir contaminantes del aire como PM_{10} ya que presenta menores errores estadísticos.

De manera más específica, Ramírez et al. (2018) luego de evaluar el sector del aeropuerto de Tababela en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador, determinó que este método es más apropiado para la para la evaluación de (PM_{10}) debido a la proximidad de los valores estimados con los reales, además de que permite una mejor visualización de zonas con mayor y menor concentración.

3.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó la correlación de Pearson a fin de conocer si existía relación entre las dos variables de estudio: factores meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento) y la concentración de material particulado sedimentable, por medio del software estadístico "SPSS" (Statistical Package for the Social Sciences).

Este coeficiente puede variar entre un rango de -1 a +1, si se encuentra cercano a 0 la relación entre las variables será menor y mientras más se aproxime a 1 mayor será dicha relación (Buitrago y Tejeiro, 2019). Los valores encontrados fueron analizados de acuerdo a la tabla 3.



Tabla 3. Interpretación de los coeficientes de correlación

Valores	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Buitrago y Tejeiro, 2019

3.9 Encuestas

Para identificar la influencia social del material particulado sedimentable en la zona de estudio, se utilizó encuestas como instrumentos para recolectar información referente a la realidad de los habitantes y su opinión acerca de cómo este contaminante influye en su calidad de vida.

Se realizó un cuestionario con 8 preguntas, en las que se hizo referencia a distintos aspectos de afectación (salud, impacto visual, infraestructuras), fuentes de emisión y efectos, esta se aplicó a 40 personas distribuidas en el área de estudio en los puntos en donde se llevó a cabo el muestreo.

El procesamiento de la información obtenida se realizó mediante el Software Microsoft Excel, para la tabulación de los datos y los respectivos gráficos estadísticos.



4.1 Material Particulado Sedimentable

En las Tablas 4 y 5, se detalla los valores obtenidos de PTS por medio del método gravimétrico, correspondientes a los dos periodos de muestreo. Para los cálculos se consideró un radio del envase de 8 cm.

Tabla 4. Resultados de la concentración de PTS primer muestreo

N° PUNTOS	CONCENTRACIÓN (mg/cm ² *30 días)	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/cm ² *30 días)
1	0,31433	0,41314
2	1,24191	1,63228
3	0,65104	0,85569
4	0,98676	1,29693
5	0,80174	1,05376
6	0,73162	0,96159
7	1,32099	1,73622
8	0,78036	1,02565
9	0,48642	0,63931
10	0,42872	0,56349
11	1,73728	2,28336
12	0,94846	1,24660
13	0,85148	1,11913
14	0,57296	0,75306
15	0,30488	0,40072
16	0,53466	0,70272
17	1,00317	1,31850
18	0,88281	1,16031
19	1,89991	2,49712
20	0,80224	1,05441
21	1,60299	2,10686
22	0,57346	0,75371
23	0,61175	0,80405
24	0,91116	1,19757
25	1,07231	1,40937
26	0,95344	1,25314
27	0,42524	0,55891
28	0,73360	0,96420
29	0,34417	0,45236
30	0,82462	1,08383
31	0,69730	0,91648
32	0,47000	0,61774
33	0,40236	0,52884
34	0,48144	0,63278
35	0,30936	0,40660
36	0,38595	0,50727
37	0,40137	0,52753
38	0,71023	0,93348
39	0,76991	1,01192
40	0,59086	0,77659

Fuente: Autoras



Tabla 5. Resultados de las concentraciones de PTS segundo muestreo

Nº PUNTOS	CONCENTRACIÓN (mg/cm ² *30 días)	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/cm ² *30 días)
1	0,41380	0,54388
2	1,57762	2,07352
3	0,95543	1,25575
4	1,07032	1,40675
5	0,84501	1,11063
6	0,77041	1,01257
7	1,66864	2,19315
8	0,80224	1,05441
9	0,61673	0,81058
10	0,52919	0,69553
11	2,71011	3,56199
12	1,30457	1,71464
13	0,94349	1,24006
14	0,85446	1,12305
15	0,63413	0,83346
16	0,71471	0,93936
17	1,14890	1,51004
18	1,00914	1,32635
19	2,46839	3,24429
20	0,99472	1,30739
21	2,01132	2,64355
22	0,58141	0,76417
23	0,71968	0,94590
24	1,61841	2,12713
25	1,28916	1,69438
26	1,06684	1,40218
27	0,56351	0,74064
28	0,78583	1,03284
29	0,52074	0,68442
30	0,92956	1,22176
31	0,93702	1,23156
32	0,47995	0,63082
33	0,55754	0,73279
34	0,76792	1,00931
35	0,38943	0,51184
36	0,63712	0,83738
37	0,54610	0,71776
38	0,85048	1,11782
39	0,87237	1,14658
40	0,59584	0,78313

Fuente: Autoras

Comparación de los valores de PTS del primer muestreo con la normativa.

Como se indicó anteriormente en la Legislación Ambiental Ecuatoriana TULSMA, el límite máximo permisible es de 1 mg/cm²*30días. En la figura 3, se compara los valores obtenidos correspondientes al primer muestreo, con los establecidos en la legislación. Se observa que el 55 % de los puntos de monitoreo (1, 3, 6, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 28, 29, 31, 32, 33,



34, 35, 36, 37, 38, 40) presentan valores por debajo de los límites establecidos, además 6 se localizaron en el polígono referente al parque industrial y 16 en las zonas aledañas, la concentración más baja correspondió al punto de monitoreo 15 (0,40072 mg/cm²*30 días) ubicado en la Av. Hurtado de Mendoza.

El 45 % de los puntos restantes (2, 4, 7, 8, 11, 12, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26 y 27) se encontraban dentro o limitando al parque industrial, la mayor concentración del contaminante se presentó en el sitio 19 ubicado en la Av. Del Toril lugar colindante a una industria cementera. El segundo valor corresponde al punto 11, ubicado en la calle Cornelio Veintimilla en una pequeña vivienda rodeada de varias industrias en las que destacan: cementera, de alimentos y cerámica y el tercer valor representa al punto 21 referente a una industria de alimentos. Entonces se podría mencionar que en este polígono se localizaron las mayores concentraciones de material particulado sedimentable para este muestreo.

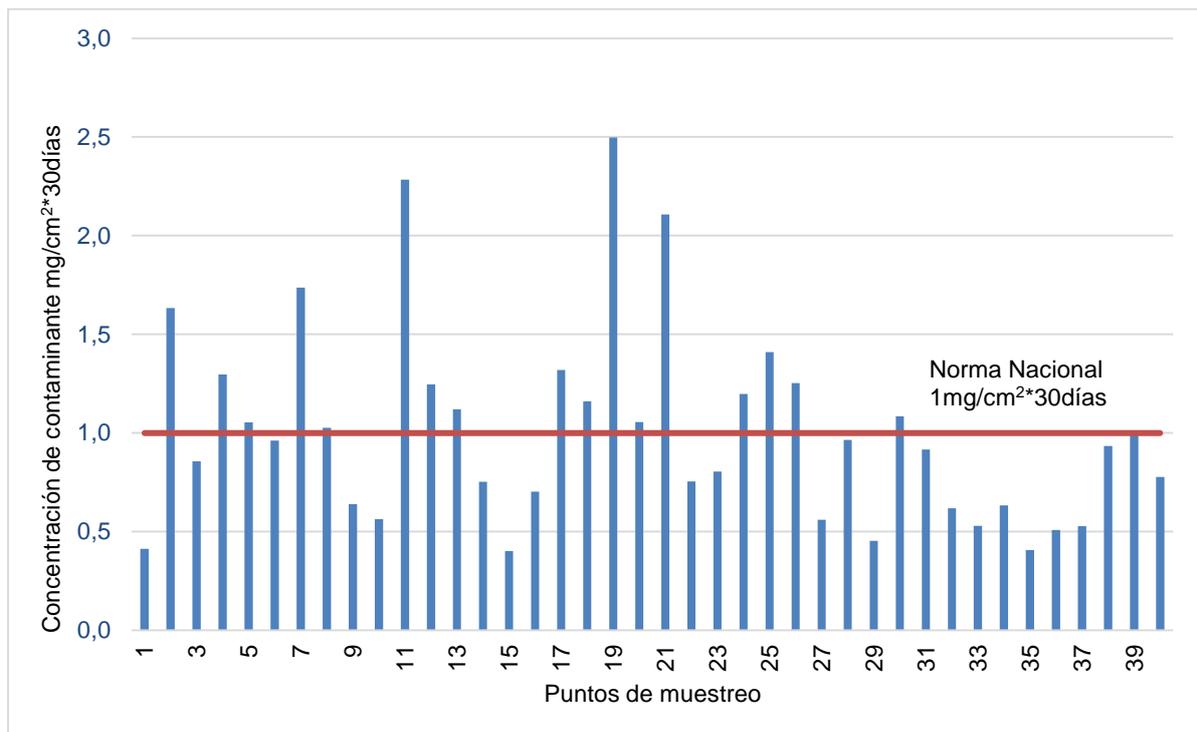


Figura 3. Comparación de los valores de PTS primer muestreo con la normativa

Fuente: Autoras

Comparación de los valores de PTS del segundo muestreo con la normativa.

En la figura 4, se observa que para el segundo muestreo el 37,5 % de los puntos de monitoreo (1, 9, 10, 15, 16, 22, 23, 27, 29, 32, 33, 35, 36, 37, 40) cumplieron con la legislación, de los cuales solo 2 se localizaron en el parque industrial y 13 en las zonas aledañas, la concentración más baja correspondió al punto de muestreo 35 (0,51184 mg/cm²*30 días) ubicado en la calle Cimarrones.

El 62,5% de puntos restantes (2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 39) se encontraban dentro o limitando al parque industrial. El punto que mayor concentración presentó es el punto de monitoreo 11, seguido del 19 y 21. Llama la atención que estos tres



puntos fueron los que presentaron mayores concentraciones en las dos etapas del monitoreo.

Entonces se podría mencionar que nuevamente en este polígono se localizaron las mayores concentraciones de material particulado sedimentable para este muestreo.

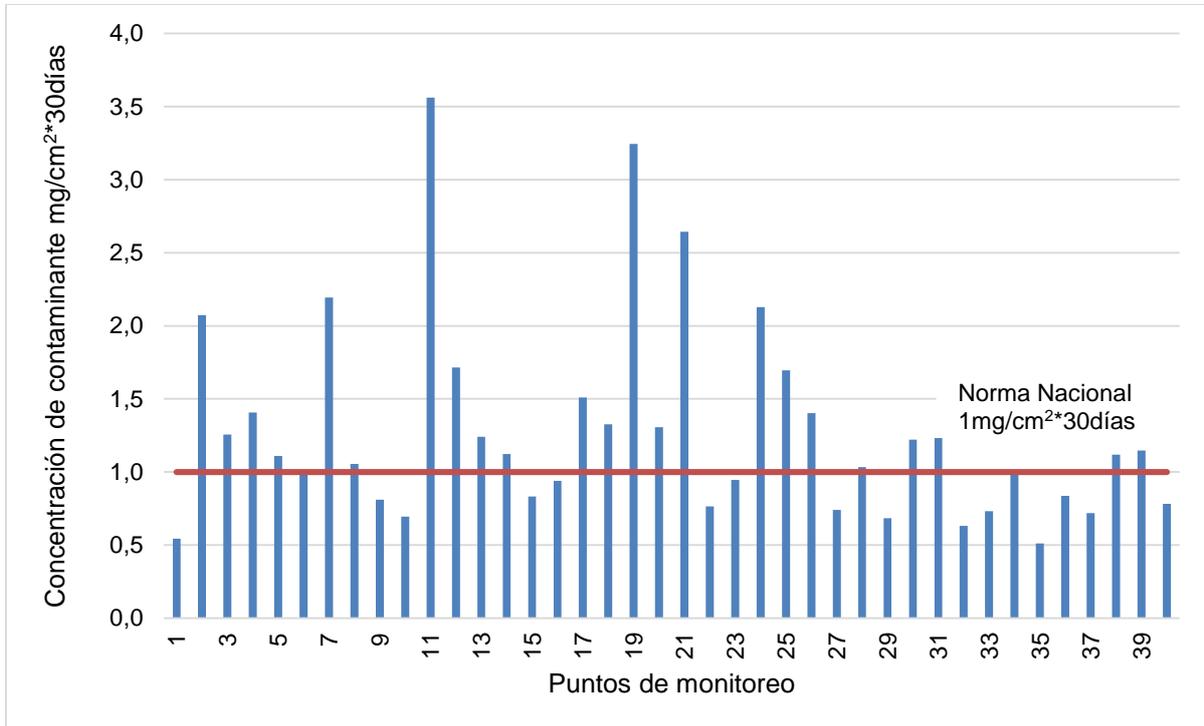


Figura 4. Comparación de los valores de PTS segundo muestreo con la normativa

Fuente: Autoras

Comparación de los valores de PTS durante los dos muestreos.

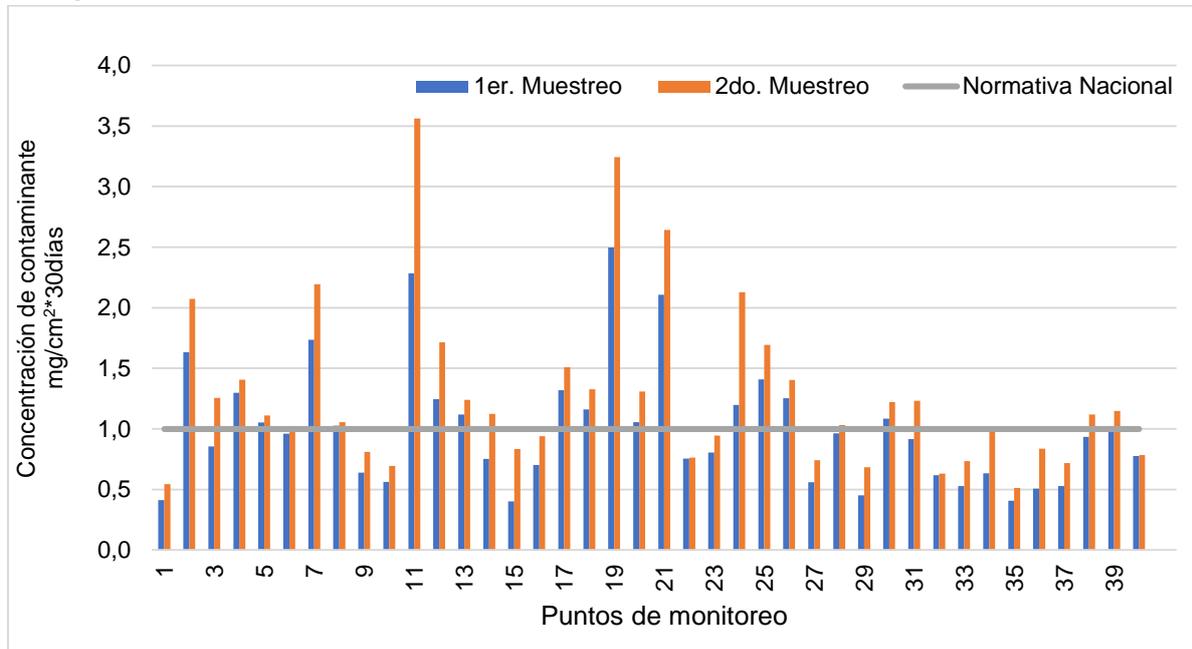


Figura 5. Comparación de las concentraciones obtenidas de PTS durante los dos muestreos

Fuente: Autoras



En la figura 5, se representan las concentraciones obtenidas de PTS durante los dos muestreos, se observa que para el segundo muestreo la concentración del contaminante en todos los puntos aumenta significativamente en referencia al primer muestreo, lo cual puede deberse a que en el primer muestreo las industrias aún no trabajaban con normalidad a causa de la pandemia, además existía restricción vehicular, por lo tanto, la afluencia de vehículos en esta zona era menor a lo habitual, pero en el segundo muestreo todas las actividades se reanudaron con total normalidad al igual que el tránsito vehicular. Esto concuerda con Zalakeviciute et al. (2020) quienes en su estudio realizado en Quito-Ecuador encontraron reducciones significativas de contaminantes atmosféricos entre ellos $PM_{2.5}$ incluso en áreas industriales comprobando el mejoramiento de la calidad del aire urbano debido a las medidas de mitigación del COVID-19.

De esta manera se podría mencionar que las concentraciones obtenidas provienen en su mayoría de fuentes fijas (industrias), del elevado tráfico vehicular que existe en la zona y el material que es arrastrado por el viento de calles no pavimentadas especialmente. Cabe recalcar que los puntos más alejados a pesar de presentar características como calles de tierra o lastre compactado, no reflejan valores elevados del contaminante en comparación con otros sectores que cuentan con calles pavimentadas, por lo que se podría concluir que el tráfico vehicular influye en mayor medida sobre las concentraciones de PTS.

Los puntos de muestreo que mayor concentración presentaron durante todo el estudio fueron: 11, 19, 21, 24, 7, 2, localizadas dentro del parque industrial, por lo tanto, se podría decir que en esta zona se localizan las mayores concentraciones del contaminante, coincidiendo con el estudio realizado por Abad (2014), en el que se analizó 3 puntos de monitoreo pasivo distribuidos en la ciudad de Cuenca, uno de ellos emplazado en el parque industrial mismo que superó a los otros dos puntos y a la normativa, además del estudio realizado por Mejía et al. (2015) en el que se analizaron 30 puntos de monitoreo y se obtuvo que entre los puntos de mayor concentración de PTS estaba el parque industrial debido al elevado tráfico vehicular desde o hacia dicha zona, quedando así corroborada la información obtenida en este estudio.

Por otra parte, los puntos de muestreo que menor concentración mostraron fueron: 1, 15, 29 y 35 ubicados en zonas más alejadas al parque industrial.

4.2 Análisis estadístico

En la siguiente tabla, se detallan los valores obtenidos de las correlaciones realizadas entre factores meteorológicos y concentración de material particulado sedimentable.



Tabla 6. Resultados de correlación de variables meteorológicas y concentración del contaminante durante los dos muestreos

Variables	Primer muestreo	Segundo muestreo
	Coefficiente de Correlación	Coefficiente de Correlación
Concentración - Precipitación	0,321	0,326
Concentración - Humedad	0,175	0,199
Concentración - Temperatura	0,376	0,423
Concentración - Dirección del viento	0,210	0,227
Concentración - Velocidad del viento	0,299	0,374

Fuente: Autoras

En la Tabla 6 se observa que la variable que presentó mayor correlación positiva con el contaminante, fue la temperatura, para el primer muestreo la relación fue baja y en el segundo moderada. Esto indica un incremento proporcional entre la variable y las concentraciones de PTS, coincidiendo con el estudio realizado por Buitrago y Tejeiro (2019) que menciona que este comportamiento se podría dar posiblemente por la resuspensión del material particulado del suelo, que es levantado al calentarse el aire debido al aumento en la temperatura, además de la contribución por parte del tráfico vehicular en vías pavimentadas.

La variable de precipitación mostró una correlación positiva baja en los dos periodos, concordando con Villacrés (2015) que también encuentra que este factor meteorológico no presenta una relación significativa en la concentración de PTS. El tipo de correlación indica un aumento proporcional entre la variable y las concentraciones de PTS, en contra parte con el estudio realizado por Chávez (2018) señala que la precipitación actúa como un factor de deposición, debido a que arrastra los contaminantes suspendidos y los deposita en el suelo disminuyendo la concentración del material particulado sedimentable.

La velocidad del viento mostró una correlación positiva baja en los dos periodos, coincidiendo con Villacrés (2015) que en su estudio también encuentra que este factor meteorológico no presenta una dependencia significativa en la concentración del contaminante. Este tipo de correlación indica un incremento proporcional entre la variable y la concentración de PTS, esto contrasta a los autores Venegas y Mazzeo (2012) que mencionan que una mayor velocidad del viento produce una mayor dispersión del contaminante atmosférico.

La dirección del viento presentó una correlación positiva baja en los dos periodos, esto indica un incremento proporcional entre este factor meteorológico y la concentración del contaminante. La dirección predominante se encuentra hacia el suroeste, es decir esta se dirige principalmente hacia el centro del cantón Cuenca coincidiendo con Moscoso et al. (2019) quienes obtuvieron como resultado de su estudio que la dispersión de los contaminantes atmosféricos entre ellos PM_{10} desde la zona industrial toma una dirección suroeste, hacia las zonas residenciales de la ciudad, afectando principalmente el centro histórico.



La humedad manifestó una correlación positiva en la categoría de muy baja en los dos periodos de muestreo, concordando con González y Torres (2015) que mencionan que este factor meteorológico no ejerce una influencia directa sobre la concentración de un contaminante atmosférico.

Se podría decir entonces que al presentar mayor concentración de contaminante en el segundo muestreo la correlación es mayor para todas las variables en comparación con el primer muestreo.

4.3 Representación espacial: método de interpolación IDW

En la figura 6 y 7, se visualiza la dispersión del material particulado sedimentable con respecto al área de estudio, por medio de una clasificación por colores que va en una escala de roja a verde se identificaron las zonas con mayor y menor concentración.

Se observa que las mayores concentraciones de PTS se encuentran al oeste y centro de la zona de estudio, particularmente están ubicadas en el polígono del parque industrial y en el área circundante al mismo por lo que se podría concluir que estas áreas son las más afectadas debido a que superan el límite estipulado en la normativa, concordando con Tenorio (2019) que analizó la dispersión de PTS proveniente del parque industrial del cantón Esmeraldas a través de IDW y se obtuvo que los puntos de mayor concentración fueron los que se ubicaban en las zonas colindantes al mismo.

A medida que los puntos se sitúan a mayores distancias del parque industrial la concentración va disminuyendo hacia los extremos de la zona, principalmente en sectores con escaso tráfico vehicular y alta vegetación, coincidiendo con el estudio de Espitia y Porras (2017) en el cual se analizó la dispersión de PM_{10} a través de este mismo método de interpolación y como resultado se obtuvo concentraciones bajas en localidades con presencia de áreas verdes ya que éstas actúan como sumideros de contaminantes.

En el primer muestreo el valor mínimo es de $0,40072 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ y el máximo de $2,49712 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$, las mediciones superiores se visualizan específicamente en los puntos 2, 7, 11, 19 y 21.

En el segundo muestreo el valor mínimo es de $0,54387 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ y el máximo de $3,56198 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$, las mediciones superiores se visualizan en los puntos 7, 11, 19, 21 y 24.

El patrón de dispersión sigue siendo el mismo para los dos muestreos, sin embargo, debido a que en el segundo muestreo se presentan valores más altos se genera una mayor área de dispersión del contaminante.

Rodríguez (2014), en su estudio evaluó PM_{10} para determinar la calidad del aire en Bogotá por medio de IDW donde concluye que la presencia de “ojos de buey” ayuda a visualizar puntos críticos especialmente en donde se superan los límites máximos estipulados, resultado similar al encontrado en este estudio donde se aprecia este efecto en varios puntos de muestreo corroborando así las mediciones de PTS anteriormente mencionadas.

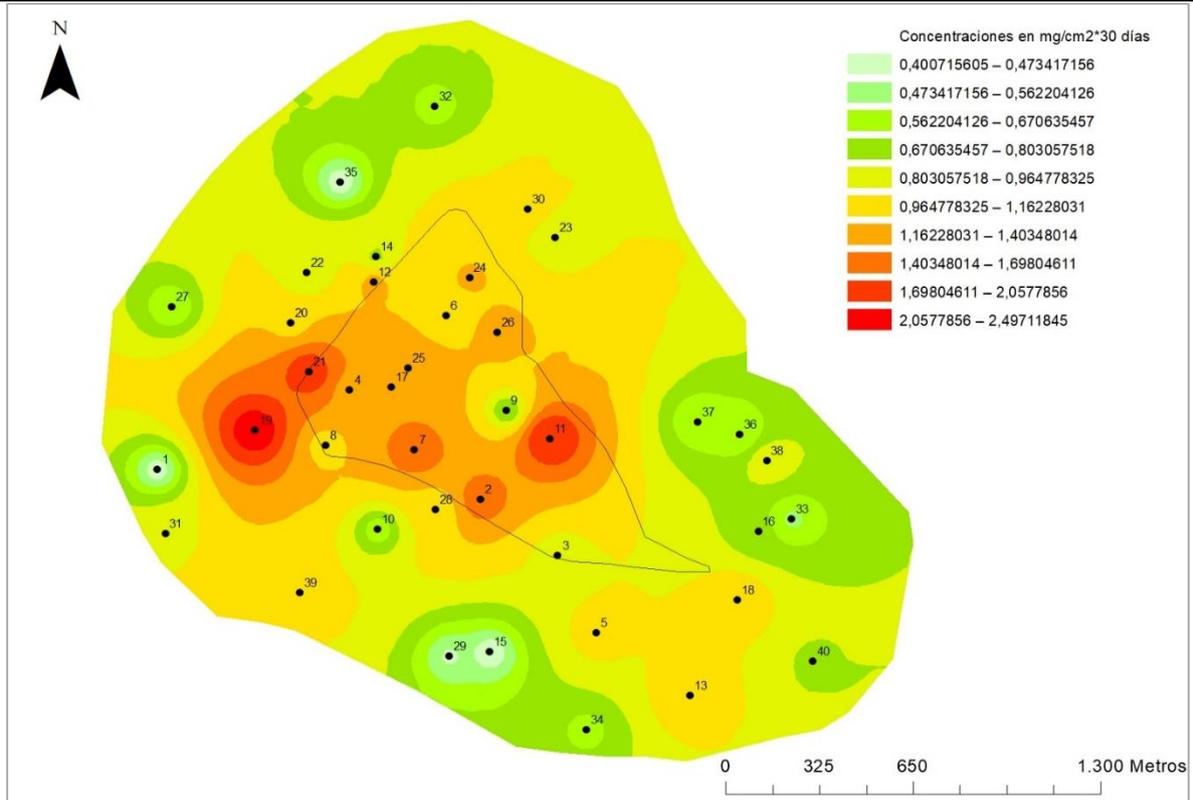


Figura 6. Distribución de PTS en la zona de estudio primer muestreo

Fuente: Autoras

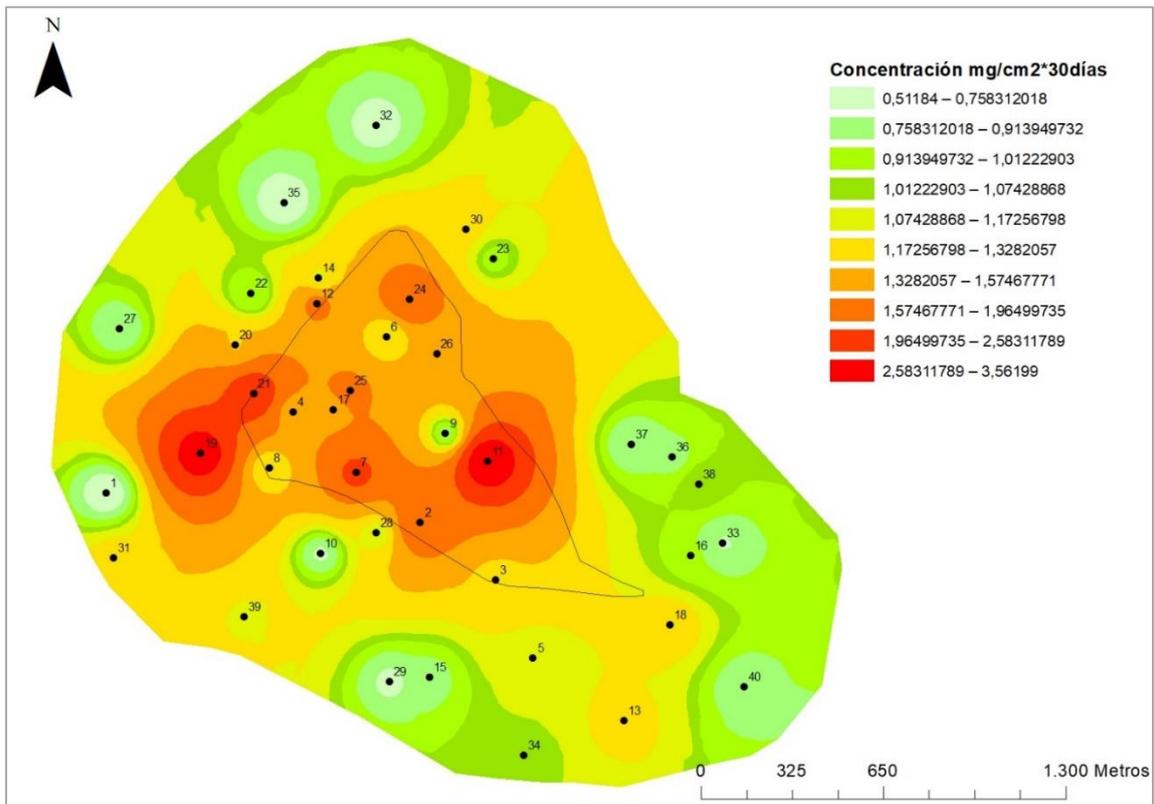


Figura 7. Distribución de PTS en la zona de estudio segundo muestreo

Fuente: Autoras

4.4 Encuesta

En referencia a la calidad del aire en la zona de estudio se obtuvo que, el 58 % de encuestados consideraron que es “Regular”, seguida de “Mala” en 20 %. Siendo la categoría de “Muy buena” la de menor porcentaje, como se puede observar en la figura 8. Un estudio realizado por Moscoso et al. (2019) menciona que la zona del parque industrial es determinante para el cálculo del índice de calidad del aire del cantón Cuenca. Por lo que este resultado puede aportar una referencia del estado actual de la zona de estudio en relación a los niveles de contaminación.

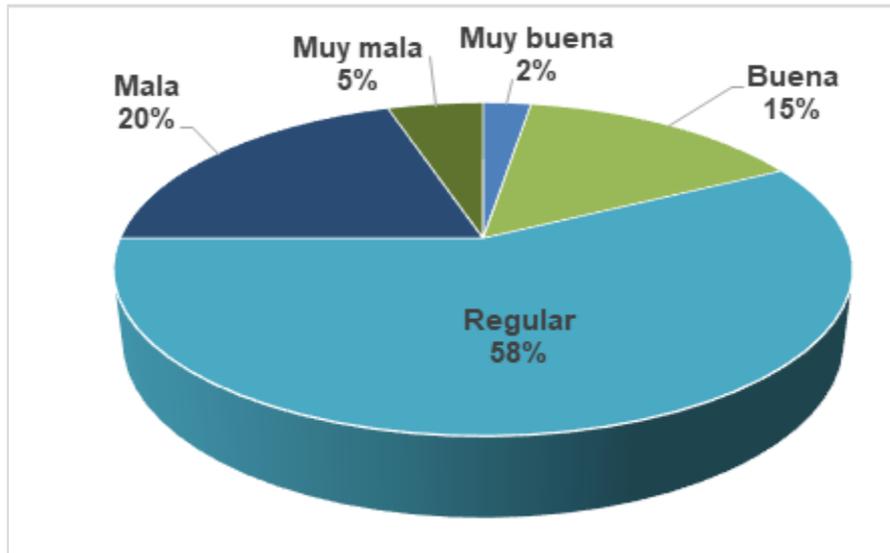


Figura 8. Calidad del aire
Fuente: Autoras

En referencia al nivel de preocupación de la población por la contaminación del aire debido a PTS, se observa en la figura 9 que al 62 % de los encuestados les preocupa “Mucho” y al 32 % les preocupa “Algo”.

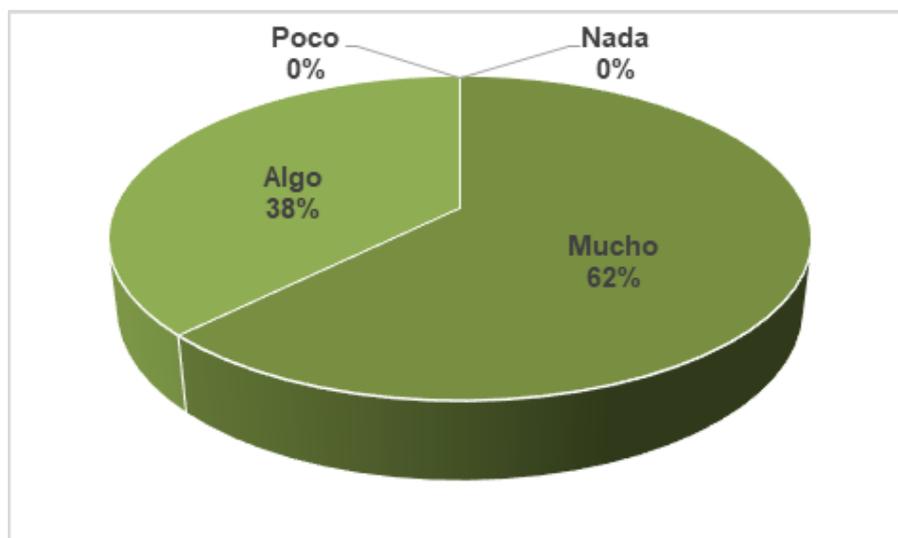


Figura 9. Nivel de preocupación
Fuente: Autoras

En la figura 10 se observa que el 100 % de los encuestados consideraron que el aspecto que más se ve afectado por la emisión de PTS en la zona de estudio, es la "Salud" en relación a otros como el "Impacto visual" e "Infraestructuras".

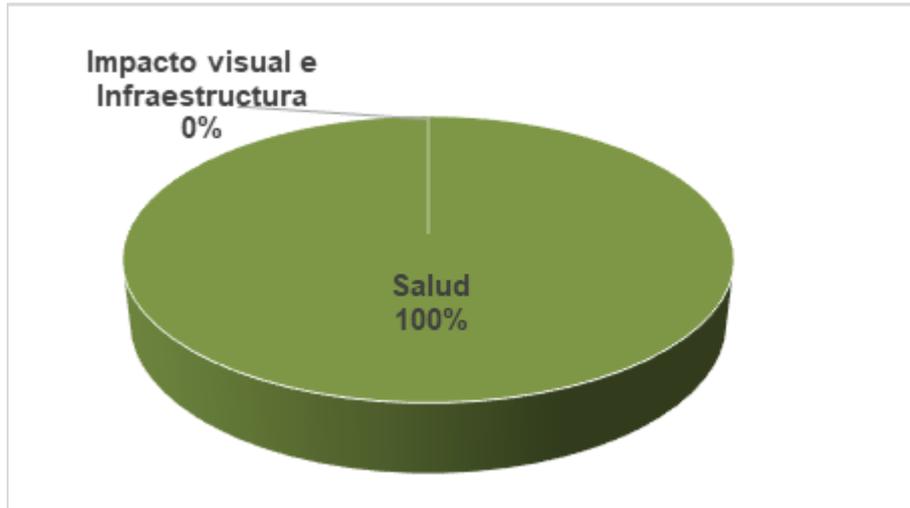


Figura 10. Aspecto de afectación

Fuente: Autoras

Dentro del aspecto relacionado al nivel de afección a la salud, el 52 % de los encuestados indicaron que su salud se encuentra "Muy afectada" y el 48 % "Poco afectada" (figura 11).

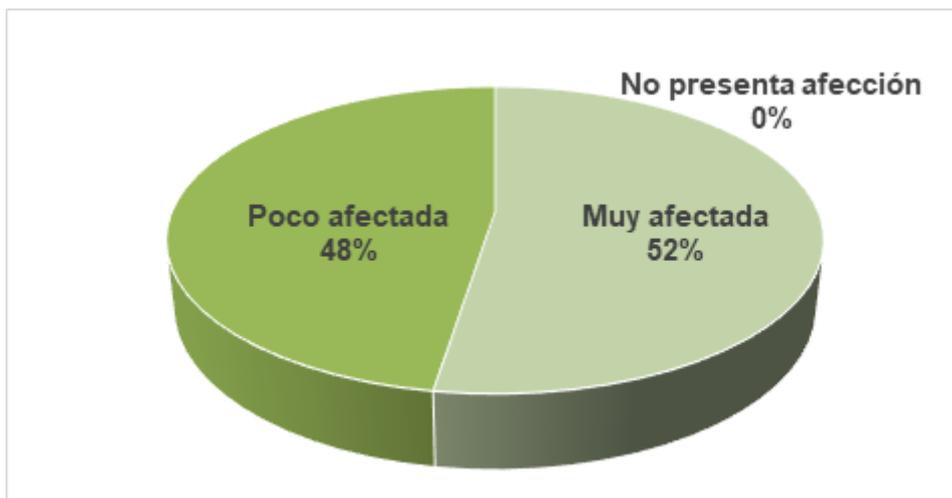


Figura 11. Nivel de afectación a la salud

Fuente: Autoras

En la figura 12 se observar las principales afecciones a la salud que han presentado los encuestados: irritación de ojos (32 %), irritación de garganta (24 %), dolores de cabeza (21 %), fatiga, cansancio, stress en un 20 % y por último con un bajo porcentaje (3 %) se encuentra los daños al sistema respiratorio. No presentaron daños al sistema auditivo.

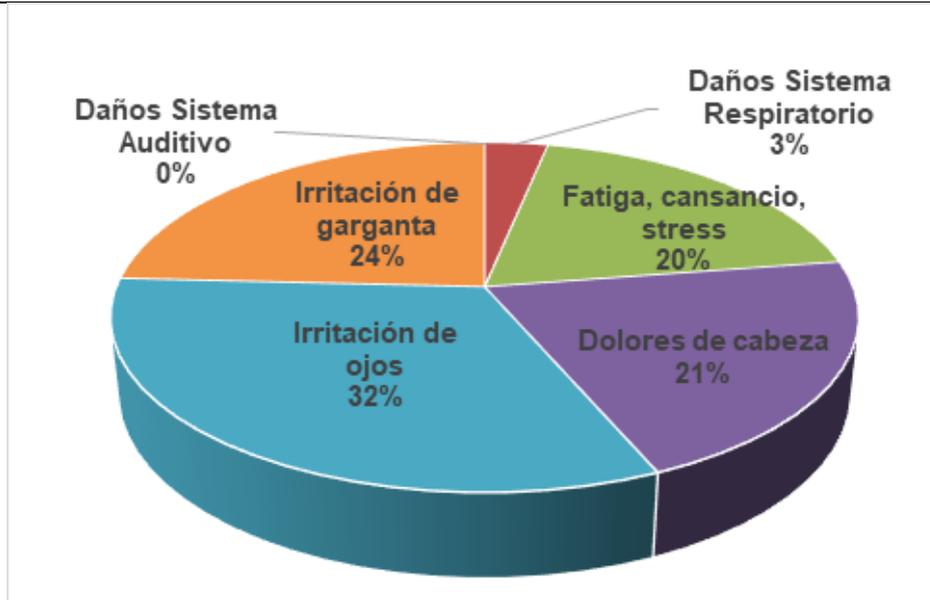


Figura 12. Afecciones a la salud

Fuente: Autoras

Los grupos humanos más afectados por la contaminación del aire por PTS corresponden a “Personas de la tercera edad” (60 %) y “Niños” (36 %), como se puede observar en la figura 13.

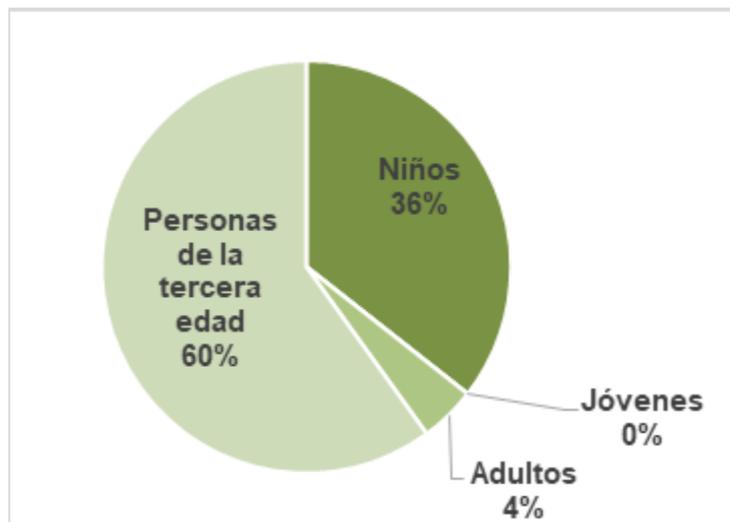


Figura 13. Grupos humanos afectados

Fuente: Autoras

Los resultados presentados en las figuras 10, 11, 12, 13 relacionados al aspecto de la salud de la población, concuerdan con lo obtenido por Şerban et al. (2011) quien evaluó el nivel de contaminación del aire por material particulado (PTS y PM₁₀) como un indicador de la salud de las personas en un área de Rumanía concluyendo que la exposición a los mismos contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades principalmente respiratorias, cardiovasculares y alergias, siendo los niños menores de 5 años los más afectados. Además, la investigación realizada en el cantón Cuenca por León (2011) demuestra la influencia de la contaminación producida por el parque industrial en los estudiantes de una

unidad educativa cercana donde se concluyó que puede generar problemas en la salud siendo de mayor incidencia afecciones en las vías respiratorias, dolor de cabeza, problemas visuales y mareos.

Acercas de las fuentes de emisión de material particulado sedimentable al aire (figura 14), el 61 % de los encuestados consideraron que se debe a la “Industria”, seguido del “Parque automotor” (29 %) y por “Procesos naturales” un 10 %. Además, no consideraron como fuentes de emisión a los hogares, servicios y comercios.

Resultados similares fueron obtenidos por Tenorio (2019) en Esmeraldas-Ecuador, al determinar que se presentan mayores concentraciones de PTS debido a la incidencia industrial y en menor parte por derivados de fuentes naturales. Además, en el estudio realizado por Mejía et al. (2018) en el cantón Cuenca se determinó que niveles superiores de material particulado sedimentable correspondían principalmente al tráfico vehicular.

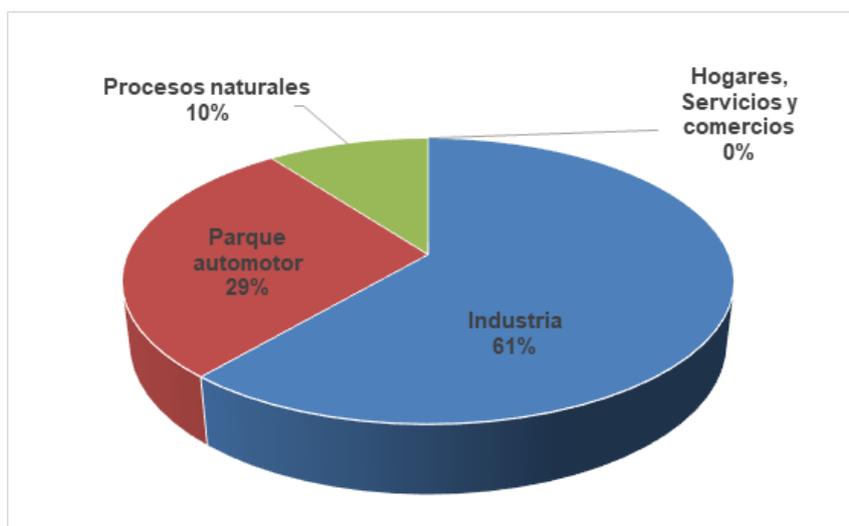


Figura 14. Fuentes de emisión
Fuente: Autoras

Los efectos negativos más representativos causados por el material particulado sedimentable (figura 15) fueron: presencia de “Partículas de distintos colores” (39 %) y “Falta de visibilidad” (21 %), las categorías “Pérdida de cultivos” (6 %) y “Daños en las infraestructuras” (1 %) fueron los que menores porcentajes obtuvieron.

Esto corrobora a Morales (2019) que expone sobre la presencia de partículas en el área del parque industrial de Cuenca que causa molestia a los habitantes del sector. Además, la pérdida de cultivos es corroborada con el estudio de García y Abad (2015) en el cual se evaluó la fitotóxicidad del PTS del área urbana de la ciudad de Cuenca en cuatro especies (brócoli, cebolla, lechuga, rábano) y se obtuvo como resultado que este contaminante en altas concentraciones ejerce efectos negativos como la alteración del crecimiento normal e inhibición en la germinación de ciertas semillas.

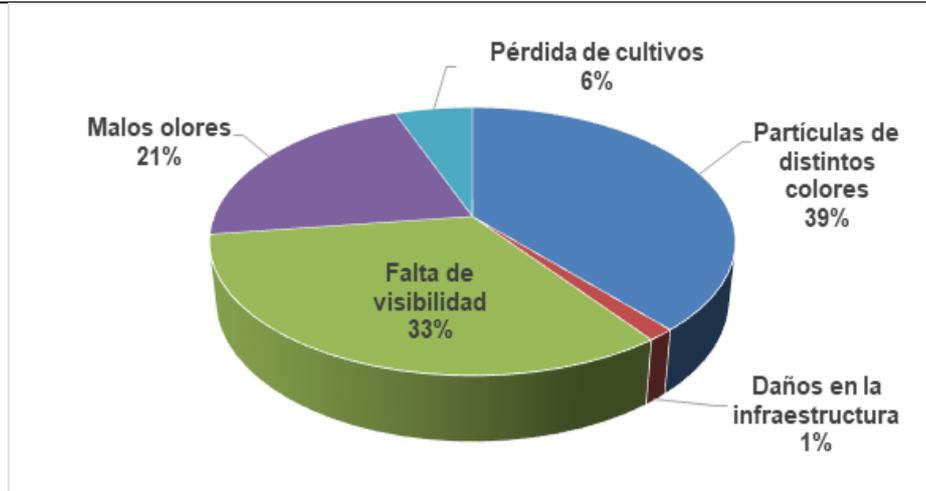


Figura 15. Efectos de PTS
Fuente: Autoras



5.1 Conclusiones

El área que mayor concentración de material particulado sedimentable presentó durante todo el estudio fue el parque industrial, superando el límite máximo permisible de $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{días}$, pudiendo deberse en su mayoría a fuentes fijas (industrias), elevado tráfico vehicular que existe en la zona y el material que es arrastrado por el viento de calles aledañas no pavimentadas especialmente.

Se asume que la concentración de PTS aumentó significativamente en el segundo muestreo, debido a que en el primero las industrias aún no trabajaban con normalidad a causa de la pandemia, además existía restricción vehicular, por lo tanto, la afluencia de vehículos en esta zona era menor a lo habitual, pero en siguiente monitoreo todas las actividades se reanudaron con total normalidad al igual que el tránsito vehicular.

Los factores meteorológicos como precipitación, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento presentaron relaciones poco significativas en las concentraciones de material particulado sedimentable. Siendo los valores de dichas relaciones mayores en el segundo muestreo en donde las concentraciones de PTS son superiores al primer muestreo. La dirección del viento permitió determinar que el contaminante se dirige principalmente hacia el centro del cantón Cuenca.

Mediante la representación gráfica de la dispersión del PTS a través del método de interpolación IDW, se encontró una mayor influencia en el sector del parque industrial y se distribuye principalmente en dirección oeste y centro de la zona de estudio, se destaca que las concentraciones disminuyen en los puntos de monitoreo situados a mayores distancias del parque industrial.

Los resultados de las encuestas demostraron que el material particulado influye fuertemente en la población de la zona de estudio, provocando afecciones en la salud principalmente en el sistema respiratorio, comprometiendo de manera negativa a grupos vulnerables como las personas de la tercera edad y niños.

5.2 Recomendaciones

Con el fin de evitar errores en la distribución de datos se recomienda analizar un área de estudio en la que todos los puntos cuenten con datos meteorológicos, ya que de lo contrario se tendrá el mismo valor de las variables para todos los puntos.

Es de importancia que autoridades locales, controlen y proporcionen soluciones viables para disminuir los niveles de partículas sedimentables en la zona del parque industrial, de manera que se garantice una calidad del aire óptima que permita a la población vivir en un ambiente sano.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. (2014). Fitotoxicidad del material particulado sedimentable (mps) generado en la zona urbana del cantón Cuenca. 93. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/tesis.pdf>
- Aguirre, J., y Jessica, M. (2015). Elaboración de un inventario de fuentes fijas de combustión establecidas en el parque industrial de la ciudad de Cuenca para la estimación de sus emisiones atmosféricas. 111. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21768/1/tesis.pdf>
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de Material Particulado (PM 10), Con Interrelación de Factores Meteorológicos y Topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo* 16(2):43-54. doi: 10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5445.
- Ayala, B., y Ochoa, D. (2011). Determinación de la Contaminación del Medio Ambiente, ocasionada por polvo sedimentable, índice de corrosividad y lluvia ácida en cinco facultades de la ciudad universitaria. 240. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Aziz, A., Lee, K., Park, B., Park, H., Choi, I., y Chang, S. (2018). Comparative Study of the Airborne Microbial Communities and Their Functional Composition in Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) under Non-Extreme and Extreme PM_{2.5} Conditions. *Atmospheric Environment* 194:82-92. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.09.027.
- Bermeo, A. (2016). Análisis cuantitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24079/1/BQ%20103.pdf>
- Buitrago, A., y Tejeiro, J. (2019). Influencia de las condiciones meteorológicas en La concentración de PST Y PM₁₀ en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda. (Vol. 53).
- Cao, C., Jiang, W., Wang, B., Fang, J., Lang, J., Tian, G., Jiang, J., y Zhu, T. F. (2014). Inhalable Microorganisms in Beijing's PM_{2.5} and PM₁₀ Pollutants during a Severe Smog Event. *Environmental Science & Technology*, 48(3), 1499-1507. <https://doi.org/10.1021/es4048472>
- Cañada, M., Vidal, M., y Moreno, A. 2010. "Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: Ensayo metodológico sobre la contaminación de partículas atmosféricas en Madrid". Universidad de Sevilla.: 691–715.
- Cely, J., Siabato, W., Sánchez, A., y Rangel, A. (2002). Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental. *Ingeniería*, 7(2), 31–38. <https://doi.org/10.14483/23448393.2815>
- Chávez, P. (2018). Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco de agosto a octubre del 2016. 137. Recuperado de http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1366/PPP_2018.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Corleto, A., y Dania, C. (2012). Comparación de los métodos de Bergerhoff y Placas Receptoras



Cruz, A., y Jimenez, A. (2006). Evaluación de la Contaminación del Aire por microorganismos oportunistas y su relación con Material Particulado (PM2.5 y PM10) en la localidad de Puente Aranda.

De Oca, L., Tricio, V., Pierre, A., Cuesta, O., Sánchez, E., y Rodríguez, R. (2010). Aspectos termodinámicos de la meteorología y su influencia en la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Díaz, G., Saboya, P., Goicochea, A., Tuesta, A. y Torres, D. (2014). Contaminación atmosférica. 33.

Espitia, S., y Porras, S. (2017). Identificación Preliminar Del Aporte De Fuentes Del Material Particulado Susceptible De Resuspensión En Vías De Bogotá. Universidad de la Salle.

Fernandez, A. (2001). Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=rk6vqMeP3eQC&oi=fnd&pg=PA24&dq=Partículas+sedimentables+depositan+por+acción+de+la+gravedad&ots=wByna9p5ZZ&sig=djOb4xffTc8x-et43SmlAsRQWE&redir_esc=y#v=onepage&q=Partículas sedimentables depositan por acción de la gravedad&f=false

Gallo, A., y Paredes, C. (2019). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del cantón Chambo (Universidad nacional de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>

García, N., y Abad, M. (2015). Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca. *Maskana*, 6(1), 95-105. <https://doi.org/10.18537/mskn.06.01.08>

González, Y. (2012). Caracterización físico-química del material particulado atmosférico de origen industrial en Andalucía.

González, M., y Torres, C. (2015). Incidencia de las variables meteorológicas en el comportamiento de la concentración de PM10 Y NOx. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Gutierrez, J., Quijano, M., y Quijano, A. (2012). Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado PM2.5 en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 24-38.

INECC. (2017). Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos. Retrieved May 18, 2019, from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html?fbclid=IwAR09FJZGOyW2o5vaNdeMONqhQMcSgtUlh8bPw-zetb6Y2HqAEi1CHcfn-0Y>

Leon, H. (2011). Influencia de la contaminación del parque industrial de Cuenca, en la salud de los estudiantes del colegio Carlos Arizaga Vega. Universidad Tecnológica Equinoccial.



- Morales, G. (2019). CGA toma medidas ante denuncias de contaminación por polvillo en Parque Industrial. Recuperado 28 de enero de 2021, de Portal Diverso website: <https://portaldiverso.com/cga-toma-medidas-ante-denuncias-de-contaminacion-por-polvillo-en-parque-industrial/>
- Moscoso, D., Morales, M., Rodríguez, Z., y Arévalo, A. (2019). Metodología para el cálculo del índice de calidad del aire (ICA) anual en la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Centro Azúcar*, 46, 85-90.
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., y Moscoso, D. (2015). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *ResearchGate*.
- Mejía, D., Moscoso, D., Astudillo, A., y Zegarra, R. (2018). Análisis de partículas sedimentables y niveles de presión sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 55-64.
- Ministerio del Ambiente. Texto Unificado de la Legislación ambiental (TULAS). Libro VI de la Calidad Ambiental. Anexo 4. Norma de calidad del aire ambiente. Registro Oficial Edición Especial 2. 31 de marzo del 2003.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Recuperado 28 de febrero de 2020, de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ramírez, L., Armijos, M., Crespo, M., Pino, S., y Álvarez, C. (2018). Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales Científicos*, 79(1), 81-91. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1143>
- Rodríguez, H. (2014). Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá. *Universidad Militar de Nueva Granada*.
- Rodríguez, L. (2018). Partículas atmosféricas sedimentables en el casco urbano del distrito de castillo grande, provincia de leoncio prado, región Huánuco. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
- Sbarato, V., Sbarato, D., Basan, R., Manzo, P., Ortega, J. E., Campos, M., y Salort, M. R. (2000). Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. *Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.
- Schraufnagel, E., John, R., Balmes, T., Cowl, S., Soon-Hee, J., Mortimer, K., Perez, R., Rice, M., Riojas, H., Sood, Akshay., Thurston, G., To, T., Vanker, A., y Wuebbles, D., (2019). Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. 155(2):417-26. doi: 10.1016/j.chest.2018.10.041.
- Șerban, E., Șerban, G., y Tünde, H. (2011). The air pollution with particulate matter in the city of Oradea and its influence on the human health. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*, 16, 455-462.



- Tenorio, K. (2019). Incidencia del Parque Industrial del cantón Esmeraldas en la ciudadela “La Florida” mediante el análisis de material particulado sedimentable. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Tobar, L. (2020). Cuenca y su aporte a la Economía del Ecuador Libro conmemorativo por el Bicentenario de la Independencia de Cuenca. ResearchGate.
- Tzani, C. G., Alimissis, A., Philippopoulos, K., y Deligiorgi, D. (2019). Applying linear and nonlinear models for the estimation of particulate matter variability. *Environmental Pollution*, 246, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.080>
- Venegas, L., y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. 11. Recuperado de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas-congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf>
- Vidal, I., López, R., Cuesta, S., Bolufé, J., y García, E. (2018). Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología* 24(2):146-58.
- Villacrés, M. (2015). Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable. Facultad de Ciencias, Bachelor, 137. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>
- Vorapracha, P., Pongtep P., Suparada K. y Pijarn, N. (2015). A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Predicting Concentrations of Particle Pollution (PM10). *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)* 3(4): 3–7.
- Wardencki, W., y Bielawska, M. (2016). Particulate Material Analysis in Air. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 73, 343-367. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.04.011>
- Zalakeviciute, R., Vasquez, R., Bayas, D., Buenano, A., Mejia, D., Zegarra, R. y Lamb, B. (2020). Drastic improvements in air quality in Ecuador during the COVID-19 outbreak. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(8), 1783-1792. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0254>



7. ANEXOS

7.1 Instalación de los puntos de monitoreo



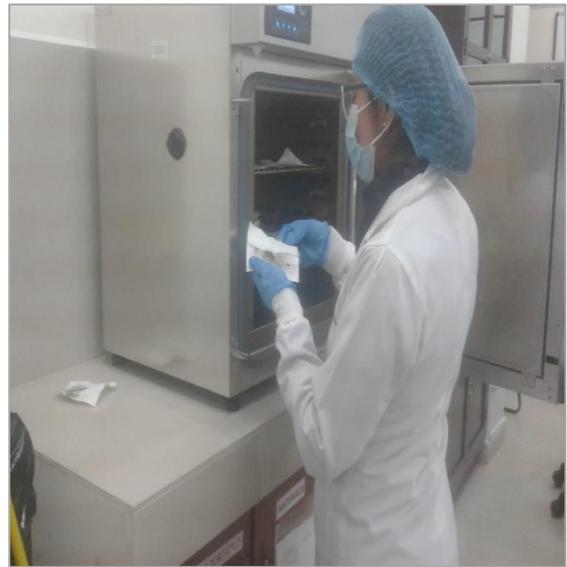
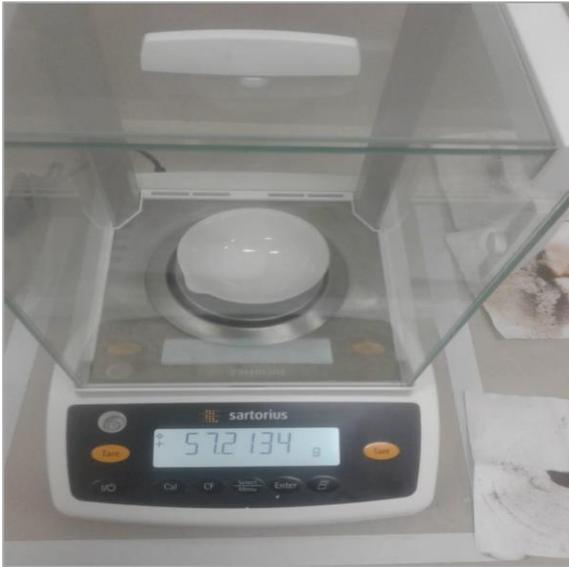


7.2 Recolección de las muestras





7.3 Análisis de las muestras





7.4 Modelo de Encuesta

ENCUESTA

Esta encuesta tiene como finalidad conocer su punto de vista en referencia a la calidad de aire que usted respira. Además, determinar la manera en la que influye el material particulado sedimentable proveniente del parque industrial en la calidad de vida de las personas que ahí residen y sus zonas aledañas.

EDAD _____

GÉNERO _____

Considera que la calidad del aire que usted respira es:

Muy buena _____

Buena _____

Regular _____

Mala _____

Muy mala _____

A usted, ¿qué tanto le preocupa la contaminación del aire?

Me preocupa mucho _____

Me preocupa algo _____

Me preocupa poco _____

No me preocupa nada _____

De los siguientes aspectos, ¿Cuál considera que es el que se más afectado por la emisión de contaminantes (material particulado sedimentable) al aire en la zona en la que reside?

Salud _____

Impacto visual _____

Infraestructuras _____

De las siguientes opciones ¿Cuál considera que es la mayor fuente de emisión de contaminantes (material particulado sedimentable) al aire en la zona que reside?

Industrias _____

Parque automotor _____

Procesos naturales _____

Hogares _____

Servicios y comercios _____

Otros (especifique) _____



¿A qué parte de la población considera Ud. que afecta mayormente la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable?

Niños _____
Jóvenes _____
Adultos _____
Personas de la tercera edad _____

Considera usted que por la contaminación del aire (material particulado sedimentable) de esta zona, su salud podría estar:

Muy afectada ____
Poco afectada ____
No presenta ninguna afección _____

Durante el tiempo que reside en este lugar, ¿Usted ha sufrido alguna de las afecciones que a continuación se detallan?

Daños al sistema auditivo _____
Daños al sistema respiratorio _____
Fatiga, cansancio, stress _____
Dolores de cabeza _____
Irritación de los ojos _____
Irritación en la garganta _____
Otros (especifique) _____

En su lugar de residencia o trabajo ¿Usted ha observado o percibido alguno de estos efectos negativos por la contaminación del aire por material particulado sedimentable?

Presencia de partículas de distintos colores _____
Daños de infraestructuras _____
Falta de visibilidad _____
Malos olores _____
Pérdida de cultivos _____
Otros (especifique) _____

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



7.5 Realización de Encuestas





7.6 Datos meteorológicos

PRIMER MUESTREO

<i>Estaciones</i>	COORDENADAS		Precipitación	Humedad	Temperatura	Dirección del viento	Velocidad del viento
	Coord. X	Coord. Y	mm	%	°C	°	m/s
<i>E. EL VECINO</i>	723584	9680788	1,53	73,01	14,37	95,99	1,53
<i>E. SECAP</i>	724997	9681514	2,20	79,58	14,59	219,38	1,65
<i>E. QUINGEO</i>	729057	9664602	0,05	87,08	11,22	139,59	2,00
<i>E. MOLLETURO</i>	679708	9692232	0,00	63,93	10,12	133,77	4,98
<i>E. NERO- BAÑOS</i>	712899	9672817	0,10	89,68	9,91	93,77	2,14
<i>E. TIXÁN</i>	723027	9686678	0,10	76,52	12,79	150,97	0,98
<i>E. CUMBE</i>	719119	9656242	0,09	91,25	9,53	360,00	0,05
<i>E. SAYAUSÍ</i>	715974	9681200	0,11	83,24	12,62	183,30	1,11
<i>E. SAN JOAQUÍN</i>	714405	9680807	0,13	71,74	12,15	188,81	0,85
<i>E. LLACAO</i>	730418	9685180	0,07	76,15	13,77	116,24	1,44
<i>E. SANTA ANA</i>	679708	9692232	0,04	81,85	12,29	179,37	1,26
<i>E. VICTORIA DEL PORTETE - IRQUIS</i>	713645	9659192	0,07	80,67	11,63	72,12	2,33
<i>E. TURI</i>	721103	9692232	0,09	82,83	12,35	87,75	2,19

**SEGUNDO MUESTREO**

<i>Estaciones</i>	COORDENADAS		Precipitación	Humedad	Temperatura	Dirección del viento	Velocidad del viento
	Coord. X	Coord. Y	mm	%	°C	°	m/s
<i>E. UPS</i>	723584	9680788	1,3	68,7	14,7	111,8	1,7
<i>E. SECAP</i>	724997	9681514	1,7	76,5	15,0	209,5	1,7
<i>E. QUINGEO</i>	729055	9664593	0,6	82	11,7	149,1	2
<i>E. MOLLETURO</i>	676435	9692152	0	73,6	8,9	141,4	4,4
<i>E. NERO- BAÑOS</i>	712899	9672817	1,4	86	10,2	104,8	2,1
<i>E. TIXÁN</i>	723027	9686678	0,9	73,5	13,1	165,6	1
<i>E. CUMBE</i>	719190	9656242	0,8	88,2	9,7	360	0,05
<i>E. SAYAUSÍ</i>	715974	9681200	0,9	79,9	12,9	178,2	1,2
<i>E. SAN JOAQUÍN</i>	714405	9680807	1,4	71,5	12,5	177,4	0,9
<i>E. LLACAO</i>	730418	9685180	0,6	71,3	14,2	136,7	1,5
<i>E. SANTA ANA</i>	730085	9672006	0,7	77,7	12,5	183,6	1,4
<i>E. VICTORIA DEL PORTETE - IRQUIS</i>	713645	9659192	0,8	79,2	11,7	84,7	2,6
<i>E. TURI</i>	721103	9674971	0,9	78,3	12,7	102,5	2,4

**7.7 Resultados de la interpolación de los datos meteorológicos****PRIMER MUESTREO**

Puntos de muestreo	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Dirección del viento (°)	Velocidad del viento (m/s)
1	1,66	75,47	14,35	138,77	1,56
2	2,20	79,56	14,59	219,06	1,65
3	2,14	79,30	14,56	212,71	1,64
4	2,04	78,68	14,50	200,52	1,62
5	2,05	78,81	14,49	201,85	1,62
6	2,05	78,91	14,50	204,33	1,62
7	2,15	79,36	14,57	213,80	1,64
8	2,02	78,38	14,49	194,76	1,62
9	2,16	79,44	14,57	216,19	1,64
10	2,10	78,91	14,54	203,88	1,63
11	2,16	79,45	14,57	215,96	1,64
12	1,95	78,43	14,43	194,04	1,61
13	1,90	78,38	14,39	190,37	1,61
14	1,92	78,33	14,41	191,36	1,60
15	2,03	78,56	14,49	199,15	1,62
16	1,95	78,72	14,42	197,75	1,61
17	2,10	79,02	14,53	206,27	1,63
18	1,94	78,64	14,41	195,67	1,61
19	1,86	77,24	14,42	172,23	1,59
20	1,90	77,97	14,41	183,65	1,60
21	1,96	78,18	14,45	189,99	1,61
22	1,87	78,00	14,38	183,42	1,59
23	1,95	78,65	14,42	197,79	1,61
24	2,01	78,75	14,46	200,47	1,62
25	2,09	79,01	14,52	206,94	1,63
26	2,09	79,07	14,52	207,80	1,63
27	1,71	76,87	14,31	162,06	1,57
28	2,18	79,43	14,58	216,20	1,64
29	2,01	78,32	14,48	194,04	1,62
30	1,91	78,52	14,38	194,81	1,60
31	1,64	74,74	14,36	126,02	1,55
32	1,72	78,02	14,25	181,52	1,56
33	1,90	78,63	14,39	194,97	1,61
34	1,92	78,19	14,41	187,62	1,61
35	1,80	77,93	14,32	181,58	1,58
36	1,97	78,80	14,43	199,90	1,61
37	2,02	78,93	14,47	203,52	1,62
38	1,94	78,72	14,42	197,50	1,61
39	1,81	76,77	14,43	163,98	1,59



40	1,82	78,33	14,32	186,84	1,60
----	------	-------	-------	--------	------

SEGUNDO MUESTREO

Puntos de muestreo	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Dirección del viento (°)	Velocidad del viento (m/s)
1	1,41	71,62	14,70	145,93	1,69
2	1,70	76,48	15,00	209,39	1,70
3	1,67	76,16	14,96	204,27	1,70
4	1,61	75,43	14,89	194,71	1,69
5	1,62	75,57	14,88	195,79	1,69
6	1,63	75,70	14,89	197,77	1,69
7	1,68	76,24	14,97	205,82	1,70
8	1,60	75,07	14,88	190,14	1,69
9	1,58	75,34	14,79	191,10	1,68
10	1,65	75,71	14,94	198,75	1,70
11	1,69	76,34	14,98	207,15	1,70
12	1,58	75,14	14,82	189,76	1,68
13	1,56	75,05	14,77	186,91	1,68
14	1,56	75,01	14,79	187,72	1,67
15	1,62	75,28	14,88	192,46	1,69
16	1,58	75,45	14,80	192,75	1,68
17	1,64	75,77	14,93	199,23	1,69
18	1,68	76,33	14,98	206,57	1,70
19	1,52	73,87	14,80	172,39	1,69
20	1,55	74,50	14,78	181,54	1,68
21	1,58	74,83	14,84	186,45	1,69
22	1,54	74,60	14,76	182,61	1,67
23	1,58	75,42	14,80	192,84	1,67
24	1,60	75,51	14,85	194,82	1,68
25	1,64	75,82	14,92	199,77	1,69
26	1,64	75,89	14,91	200,48	1,69
27	1,46	73,26	14,67	164,63	1,67
28	1,69	76,36	14,98	207,00	1,70
29	1,60	74,99	14,87	188,76	1,69
30	1,56	75,27	14,76	190,00	1,67
31	1,37	70,75	14,70	134,41	1,69
32	1,49	74,66	14,62	180,52	1,64
33	1,56	75,34	14,77	190,65	1,68
34	1,56	74,82	14,78	184,55	1,69
35	1,50	74,56	14,68	180,28	1,66
36	1,60	75,55	14,82	194,45	1,68
37	1,61	75,72	14,86	197,23	1,68
38	1,58	75,48	14,80	192,61	1,68
39	1,50	73,15	14,80	165,78	1,69



40	1,52	74,97	14,69	184,33	1,67
----	------	-------	-------	--------	------

7.8 Concentración de material particulado sedimentable obtenido durante el estudio

Resultados de las concentraciones de PTS primer muestreo

PUNTOS N°	COORDENADAS		PESO INICIAL PAPEL FILTRO (g)	PESO FINAL PAPEL FILTRO (g)	PESO INICIAL CÁPSULA (g)	PESO FINAL CÁPSULA (g)	CONCENTRACIÓN (mg/cm ² *30 días)	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/cm ² *30 días)
	Coord. X	Coord. Y						
1	723860.00	9681560.00	1,2779	1,3344	46,3322	46,3389	0,31433	0,41314
2	724981.00	9681453.00	1,2867	1,5238	42,8846	42,8972	1,24191	1,63228
3	725249.00	9681248.00	1,2648	1,3896	46,5037	46,5098	0,65104	0,85569
4	724527.00	9681850.00	1,2491	1,4412	72,5538	72,5601	0,98676	1,29693
5	725383.00	9680967.00	1,2507	1,4105	47,2141	47,2155	0,80174	1,05376
6	724861.00	9682120.00	1,2435	1,3845	37,7241	37,7302	0,73162	0,96159
7	724752.00	9681633.00	1,2750	1,5355	47,5571	47,5622	1,32099	1,73622
8	724443.00	9681649.00	1,2591	1,4057	51,8428	51,8531	0,78036	1,02565
9	725071.00	9681774.00	1,2876	1,3829	45,3062	45,3087	0,48642	0,63931
10	724625.10	9681343.29	1,2710	1,3515	42,5817	42,5874	0,42872	0,56349
11	725221.00	9681673.00	1,2612	1,5975	52,4313	52,4443	1,73728	2,28336
12	724612.00	9682240.00	1,2778	1,4672	60,7437	60,7450	0,94846	1,24660
13	725709.00	9680741.00	1,2675	1,4381	47,5571	47,5577	0,85148	1,11913
14	724618.00	9682333.00	1,2697	1,3845	37,7241	37,7245	0,57296	0,75306
15	725014.00	9680899.00	1,2705	1,3279	46,3322	46,3361	0,30488	0,40072
16	725946.00	9681335.00	1,2762	1,3718	84,0608	84,0727	0,53466	0,70272
17	724671.00	9681859.00	1,2778	1,4699	42,8846	42,8942	1,00317	1,31850
18	725872.88	9681087.11	1,2854	1,4591	55,7758	55,7796	0,88281	1,16031
19	724198.00	9681703.00	1,2764	1,6482	79,9579	79,9681	1,89991	2,49712
20	724322.01	9682091.54	1,2800	1,4343	42,5817	42,5887	0,80224	1,05441
21	724387.00	9681916.00	1,2542	1,5629	72,5538	72,5674	1,60299	2,10686
22	724377.00	9682276.00	1,2798	1,3858	52,4313	52,4406	0,57346	0,75371
23	725241.00	9682402.00	1,2763	1,3989	51,8387	51,8391	0,61175	0,80405
24	724943.00	9682256.00	1,2492	1,4299	60,7437	60,7462	0,91116	1,19757
25	724731.00	9681928.00	1,2438	1,4530	45,3192	45,3256	1,07231	1,40937
26	725040.00	9682059.00	1,2710	1,4484	86,9318	86,9461	0,95344	1,25314
27	723909.62	9682150.50	1,2773	1,3626	46,5088	46,5090	0,42524	0,55891
28	724825.00	9681416.00	1,2470	1,3784	47,2009	47,2170	0,73360	0,96420
29	724872.00	9680883.00	1,2630	1,3314	85,4322	85,4330	0,34417	0,45236
30	725145.00	9682506.00	1,2595	1,4243	79,0105	79,0115	0,82462	1,08383
31	723887.00	9681327.00	1,2683	1,4082	53,5791	53,5794	0,69730	0,91648
32	724822.96	9682880.02	1,2845	1,3756	78,9212	78,9246	0,47000	0,61774
33	726061.00	9681380.00	1,2477	1,3279	86,6546	86,6553	0,40236	0,52884
34	725349.95	9680616.32	1,2706	1,3613	46,5037	46,5098	0,48144	0,63278
35	724494.83	9682602.98	1,2645	1,3256	78,9212	78,9223	0,30936	0,40660
36	725881.00	9681689.00	1,2768	1,3485	60,7437	60,7496	0,38595	0,50727
37	725735.00	9681734.00	1,2855	1,3639	52,4313	52,4336	0,40137	0,52753
38	725975.00	9681592.00	1,3211	1,4622	45,3192	45,3209	0,71023	0,93348
39	724354.00	9681114.00	1,2839	1,4364	46,3322	46,3345	0,76991	1,01192
40	726136.00	9680864.00	1,2617	1,3779	86,6546	86,6572	0,59086	0,77659



Resultados de las concentraciones de PTS segundo muestreo

PUNTOS	COORDENADAS		PESO INICIAL PAPEL FILTRO (g)	PESO FINAL PAPEL FILTRO (g)	PESO INICIAL CÁPSULA (g)	PESO FINAL CÁPSULA (g)	CONCENTRACIÓN (mg/cm ² *30 días)	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (mg/cm ² *30 días)
	Coord. X	Coord. Y						
1	723860.00	9681560.00	1,2637	1,3413	46,5073	46,5129	0,41380	0,54388
2	724981.00	9681453.00	1,2470	1,5607	42,5821	42,5856	1,57762	2,07352
3	725249.00	9681248.00	1,2352	1,4179	53,5799	53,5893	0,95543	1,25575
4	724527.00	9681850.00	1,2640	1,4751	42,8870	42,8911	1,07032	1,40675
5	725383.00	9680967.00	1,2671	1,4305	37,7354	37,7419	0,84501	1,11063
6	724861.00	9682120.00	1,2634	1,4084	55,7762	55,7861	0,77041	1,01257
7	724752.00	9681633.00	1,2822	1,6090	53,5799	53,5886	1,66864	2,19315
8	724443.00	9681649.00	1,2654	1,4215	46,5073	46,5125	0,80224	1,05441
9	725071.00	9681774.00	1,2667	1,3831	78,9181	78,9257	0,61673	0,81058
10	724625.10	9681343.29	1,2868	1,3838	47,5596	47,5690	0,52919	0,69553
11	725221.00	9681673.00	1,2750	1,8091	57,2166	57,2274	2,71011	3,56199
12	724612.00	9682240.00	1,2768	1,5293	55,7762	55,7860	1,30457	1,71464
13	725709.00	9680741.00	1,2516	1,4349	52,4434	52,4498	0,94349	1,24006
14	724618.00	9682333.00	1,2617	1,4236	60,7465	60,7564	0,85446	1,12305
15	725014.00	9680899.00	1,2465	1,3592	84,0565	84,0713	0,63413	0,83346
16	725946.00	9681335.00	1,2482	1,3869	51,8403	51,8453	0,71471	0,93936
17	724671.00	9681859.00	1,2594	1,4833	60,7465	60,7536	1,14890	1,51004
18	725872.88	9681087.11	1,2728	1,4679	42,5821	42,5899	1,00914	1,32635
19	724198.00	9681703.00	1,2453	1,7350	45,3191	45,3257	2,46839	3,24429
20	724322.01	9682091.54	1,2459	1,4356	86,9325	86,9428	0,99472	1,30739
21	724387.00	9681916.00	1,2515	1,6264	52,4434	52,4729	2,01132	2,64355
22	724377.00	9682276.00	1,2486	1,3633	42,5821	42,5843	0,58141	0,76417
23	725241.00	9682402.00	1,2552	1,3958	79,0081	79,0122	0,71968	0,94590
24	724943.00	9682256.00	1,2450	1,5640	51,8403	51,8467	1,61841	2,12713
25	724731.00	9681928.00	1,2575	1,5126	47,2010	47,2051	1,28916	1,69438
26	725040.00	9682059.00	1,2354	1,4463	42,8870	42,8906	1,06684	1,40218
27	723909.62	9682150.50	1,2555	1,3641	86,6519	86,6566	0,56351	0,74064
28	724825.00	9681416.00	1,2589	1,4134	45,3191	45,3226	0,78583	1,03284
29	724872.00	9680883.00	1,2872	1,3879	46,3351	46,3391	0,52074	0,68442
30	725145.00	9682506.00	1,2546	1,4346	47,2010	47,2079	0,92956	1,22176
31	723887.00	9681327.00	1,2562	1,4241	57,2166	57,2371	0,93702	1,23156
32	724822.96	9682880.02	1,2488	1,3125	72,6245	72,6573	0,47995	0,63082
33	726061.00	9681380.00	1,2527	1,3625	79,9609	79,9632	0,55754	0,73279
34	725349.95	9680616.32	1,2579	1,4071	37,7274	37,7326	0,76792	1,00931
35	724494.83	9682602.98	1,2685	1,3392	47,5596	47,5672	0,38943	0,51184
36	725881.00	9681689.00	1,2765	1,3985	60,7437	60,7498	0,63712	0,83738
37	725735.00	9681734.00	1,2853	1,3939	52,4313	52,4325	0,54610	0,71776
38	725975.00	9681592.00	1,3231	1,4922	45,3192	45,3211	0,85048	1,11782
39	724354.00	9681114.00	1,2839	1,4564	46,3322	46,3351	0,87237	1,14658
40	726136.00	9680864.00	1,2617	1,3779	86,6548	86,6584	0,59584	0,78313