

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Estimación y dispersión de emisiones fugitivas por COVs en la estación de servicio de combustibles de Santa María de Huachipa, Lima – Perú 2021

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rocy Cela De La Cruz Taipe
Eva Sara Huamani Sihuín
Mercy Jimena Morales Meza

Asesor:

Ing. Dario Ccaccya Ccaccya

Lima, agosto de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Dario Ccaccya Ccaccya de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Estimación y dispersión de emisiones fugitivas por COVs en la estación de servicio de combustibles de Santa María de Huachipa, Lima – Perú 2021**” constituye la memoria que presenta los Bachilleres Mercy Jimena Morales Meza, Eva Sara Huamani Sihuín, Rocy Cela De La Cruz Taipe para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 15 días del mes de agosto del año 2022.



Ing. Dario Ccaccya Ccaccya

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **15 días** día(s) del mes de **agosto** del año 2022 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, y la **Ing. Nancy Curasi Rafael**, y el asesor **Ing. Dario Ccaccya Ccaccya**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Estimación y dispersión de emisiones fugitivas por covs en la estación de servicio de combustibles de Santa María de Huachipa, Lima – Perú 2021"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **MERCY JIMENA MORALES MEZA**,

b) **EVA SARA HUAMANI SIHUIN**, y

c) **ROCY CELA DE LA CRUZ TAIBE**

, conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **MERCY JIMENA MORALES MEZA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **EVA SARA HUAMANI SIHUIN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (c): **ROCY CELA DE LA CRUZ TAIBE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Asesor
Ing. Dario Ccaccya
Ccaccya



Candidato/a (a)
Mercy Jimena Morales
Meza

Miembro
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio



Candidato/a (b)
Eva Sara Huamani
Sihuin



Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Miembro
Ing. Nancy Curasi
Rafael



Candidato/a (c)
Rocy Cella De La Cruz
Taibe

Estimación y dispersión de emisiones fugitivas por COVs en la estación de servicio de combustibles de Santa María de Huachipa, Lima – Perú 2021

Estimation and dispersion of fugitive emissions by VOCs at the Santa María de Huachipa fuel service station, Lima – Peru 2021

De La Cruz Taipe Rocy Cela^a, Huamani Sihuín Eva Sara^a, Morales Meza Mercy Jimena^a

^a *Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura EP, Ingeniería Ambiental. Lima, Perú*

Resumen

El presente artículo desarrolla un análisis de las emisiones fugitivas por COVs generadas en una EDS de combustible, estableciendo su relación con la dispersión en el aire mediante el uso de un modelo gaussiano en el Centro Poblado de Santa María de Huachipa, en la ciudad de Lima - Perú. Para desarrollar el modelo Gaussiano SCREEN3, se aplicaron variables de entrada; la velocidad del viento, temperatura de volatilización del gas, temperatura del ambiente, tasa de emisión, altura de la chimenea, diámetro de la chimenea y tipo de terreno. Los resultados de la estimación de emisiones indican que las pérdidas evaporativas de la gasolina en una semana son de 17.5 Kg de COVs y del diésel 8.8 Kg de COVs, además las altas concentraciones de COVs medidos in situ se dieron en la jornada noche (20 - 05 horas) con un promedio de 47442.5 ug/m³. Los niveles de COVs medidos y modelados sobrepasaron el ECA - Benceno a una distancia de dispersión de 10 - 1200 metros, donde la población adyacente está propensa a la inhalación de COVs, y a sufrir los efectos negativos a la salud. El estudio concluye que los valores obtenidos fueron afectados por las condiciones atmosféricas, como la velocidad del viento, estabilidad atmosférica y la humedad, permitiendo la acumulación de estos contaminantes en el aire a bajos niveles de altura.

Palabras claves: *COVs; estimación; dispersión; SCREEN3; estación de servicio de combustible.*

Abstract

This article develops an analysis of fugitive emissions by VOCs generated in a fuel EDS, establishing its relationship with dispersion in the air through the use of a Gaussian model in the Santa María de Huachipa Population Center, in the city of Lima - Peru. To develop the SCREEN3 Gaussian model, input variables were applied; wind speed, gas volatilization temperature, ambient temperature, emission rate, stack height, stack diameter type of terrain. The results of the estimation of emissions indicate that the evaporative losses of gasoline in a week are 17.5 Kg of VOCs and diesel 8.8 Kg of VOCs, in addition, the high concentrations of VOCs measured in situ occurred during the night shift (20 - 05 hours) with an average of 47442.5 ug/m³. The measured and modeled VOC levels exceeded the ACE-Benzene at a dispersion distance of 10 - 1200 meters, where the adjacent population is prone to inhalation of VOCs, and suffer negative health effects. The study concludes that the values obtained were affected by atmospheric conditions, such as wind speed, atmospheric stability and humidity, allowing the accumulation of these pollutants in the air at low altitude levels.

Keywords: *VOCs; estimation; dispersion; SCREEN3; fuel service stations.*

1. Introducción

Actualmente, la contaminación del aire en los países en desarrollo por Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) despiertan cada vez más preocupación, por su capacidad de mezclarse con óxidos de nitrógeno para formar ozono en concentraciones elevadas a nivel troposférico, provocando un impacto negativo sobre la química y física de la atmósfera, el medio ambiente y salud humana (Camargo et al., 2010; Lai & Nguyen, 2020). En zonas urbanas, el consumo de combustibles fósiles va en aumento, utilizándose para la combustión en industria, manufactura, calefacción de espacios, cocina y transporte (Seyboth et al., 2011). En el 2017, la mayor demanda fue para el sector transporte, representando el 65.2% de su producción total, generando no sólo enormes cantidades de emisiones provenientes de la combustión interna de los vehículos, sino también de emisiones fugitivas de COVs de los sistemas de distribución de combustible a la atmósfera (Zheng et al., 2018).

Los sistemas de distribución de combustible están compuestos por un conjunto de estaciones de servicios (EDS) y/o grifos que generan emisiones de COVs, principalmente benceno, tolueno, xileno, hexano, heptano, octano, ciclohexano. Varias actividades liberan COVs dentro de una EDS, en el proceso de descarga de gasolina de camiones cisterna a los tanques de almacenamiento subterráneo, la gasolina líquida se transfiere al tanque de almacenamiento subterráneo y el nivel creciente de gasolina líquida desplaza los vapores de gasolina presentes en el espacio de la cabeza del tanque, de no capturarse estos vapores de COVs escaparían y contaminarían la atmósfera (Lai & Nguyen, 2020). Otro proceso importante de emisiones de COVs de la gasolina está relacionado con la actividad de repostaje de vehículos. Durante este proceso, la gasolina líquida se bombea desde un tanque subterráneo al depósito de combustible de un vehículo (vacío o parcialmente vacío) que desplaza los vapores presentes en su espacio de cabeza (Lai & Nguyen, 2020). La mayoría de las emisiones COVs se producen por la gasolina debido por su alta volatilidad en comparación con otros combustibles como el diésel, queroseno, etc. (EMEP, 2019).

En el Perú existen 4971 EDS y grifos de hidrocarburos líquidos, de las cuales Lima y Callao concentran el 19.9%, (Osinermin, 2019). Estos aportarían potencialmente una cantidad importante de emisiones fugitivas por COVs de no contar con un sistema de recuperación de vapores. La concentración de COVs presentes en el aire está relacionada a variables meteorológicas como temperatura, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento, las cuales afectan su comportamiento en el aire (Rattanajongjitakorn & Prueksasit, 2014). Estas concentraciones son fuentes que cooperan a la formación de gases de efecto invernadero, generando un aire tóxico para los humanos; causando irritación de las vías respiratorias, trastornos de la memoria y a largo plazo puede ocasionar lesiones al hígado, riñones, sistema nervioso central y ser cancerígenos (RISCTOX, 2010).

Las emisiones por COVs de una EDS pueden estimarse mediante el uso de factores de emisión presentes en la metodología AP-42 de la EPA. El factor de emisión es un valor relacionado a la masa de contaminante emitido por unidad de actividad. Estos son utilizados para estimar la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos de un proceso o actividad. La estimación es una herramienta práctica accesible y viable para estimar la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos de un proceso o actividad, ya que al medirlas directamente mediante equipos de monitoreo resulta complejo y costoso (Ministerio del Ambiente de Chile, 2019).

El comportamiento de la dispersión de las concentraciones de COVs en el aire puede ser representado mediante modelos matemáticos y gráficos. En cuanto a la representación matemática, el modelo más usado es el gaussiano, el cual supone que la pluma emitida de una agente contaminante sigue una distribución gaussiana en la dirección predominante del viento, es usado comúnmente para fuentes puntuales, como chimeneas industriales o ductos (Molano & Diaz, 2019). Entre sus principales ventajas está su simplicidad de cálculo y facilidad de adquisición de datos de entrada, permitiendo predecir e interpretar la concentración de contaminantes en función de la dispersión de la columna de humo emitida por una fuente fija (pluma) a partir de las características de la fuente, las condiciones meteorológicas y la topografía de la zona. Por esta razón es empleado en la mayoría de sistemas de gestión y vigilancia de la calidad del aire en centros urbanos y zonas industriales (Molano & Diaz, 2019). Este modelo se puede emplear para evaluar el efecto de emisiones puntuales que no superen los 20 Km de distancia. No son pues adecuados para tratar problemas que impliquen largas distancias tales como la lluvia ácida (Cabrera, 2012).

La legislación ambiental peruana ha establecido guías ambientales que cuidan la calidad del aire. Por ello, para las EDS en la actualidad se cuenta con la Resolución Directoral N° 024-96-EM/DGAA del 03 de octubre de 1996, la cual aprueba las siguientes guías: Guía Ambiental para la Protección Ambiental en Estaciones de Servicio y Plantas

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

de Venta, Guía Ambiental para el Manejo de Tanques de Almacenamiento Enterrados. Así también, en el 2017 se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire con el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, la cual detalla los límites del benceno presentes en el aire con una media aritmética anual. Mediante el cual se establece niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud o el ambiente (Solano et al.,2017)

En tal sentido el presente estudio analizó las emisiones fugitivas por COVs generadas en una EDS de combustible, estableciendo su relación con la dispersión en el aire mediante el uso de un modelo gaussiano SCREEN3, en el Centro Poblado de Santa María de Huachipa, en la ciudad de Lima - Perú.

2. Materiales y métodos

2.1. Lugar de estudio

La EDS se encuentra en la Av. Circunvalación en el Centro poblado de Santa María de Huachipa, del distrito de Lurigancho-Chosica, provincia Lima, departamento Lima, a una altura de 290 a 337 m.s.n.m. Está asentado en la cuenca media del río Rímac como se observa en la figura 1, con una extensión total de 12.48 km² y una población de 31 890 habitantes; se considera como distrito urbano con zonas planas (Quispe et al., 2017). Desde que inició sus actividades económicas hasta la actualidad, la EDS lleva 12 años brindando servicio de venta de combustible. Está rodeado de viviendas y algunas pequeñas empresas, cuenta con un área de 644 m² como se observa en la figura 2, con coordenadas geográficas presentes en la tabla 1. Su clima es variado, templado, con alta humedad atmosférica y constante nubosidad durante el invierno. Tiene además la particularidad de tener lluvias escasas a lo largo del año y durante el invierno las gotas de la garúa o llovizna son muy pequeñas. En verano llueve a veces con cierta intensidad, pero con corta duración. La temperatura media anual es 19 °C, las temperaturas máximas en verano pueden llegar a 35°C y las mínimas en invierno a 13°C; en cada caso producen sensación de excesivo frío o calor, debido a la alta humedad atmosférica

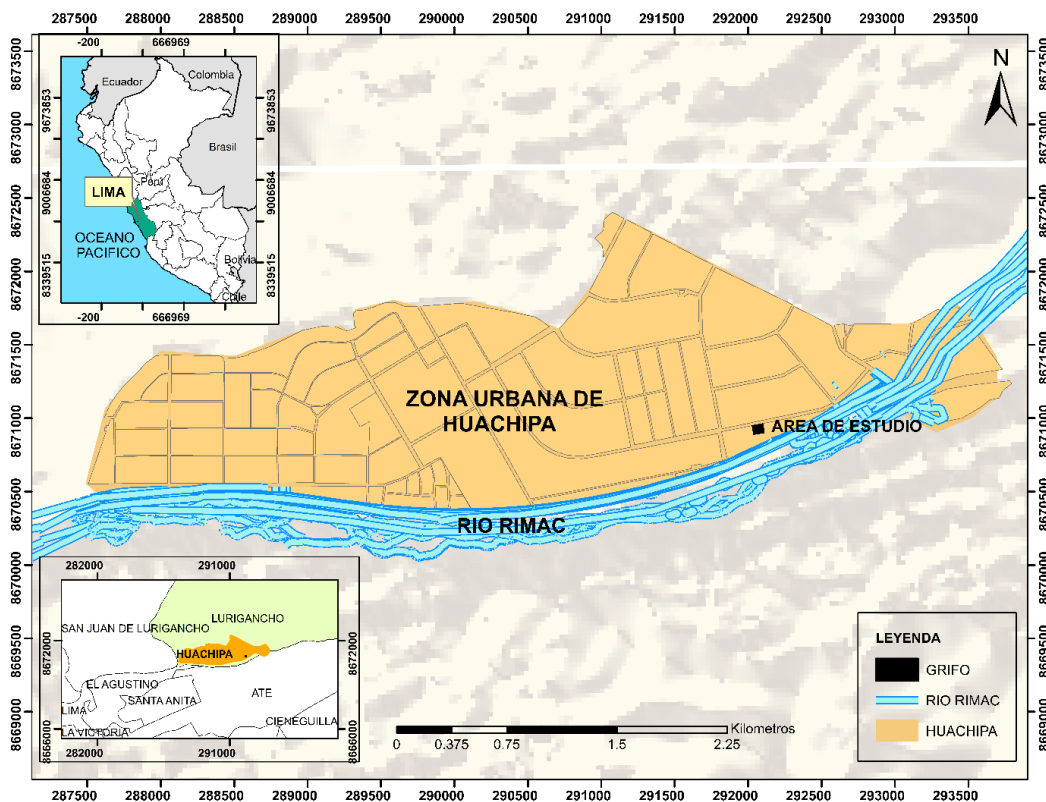


Figura 1. Mapa de ubicación de la EDS en el área urbana de Santa María de Huachipa.

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

Tabla 1

Coordenadas geográficas del área de estudio.

PUNTOS	COORDENADAS ESTE	COORDENADAS NORTE
P1	292056 m E	8670967 m N
P2	292064 m E	8670944 m N
P3	292037 m E	8670942 m N
P4	292032 m E	8670963 m N

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

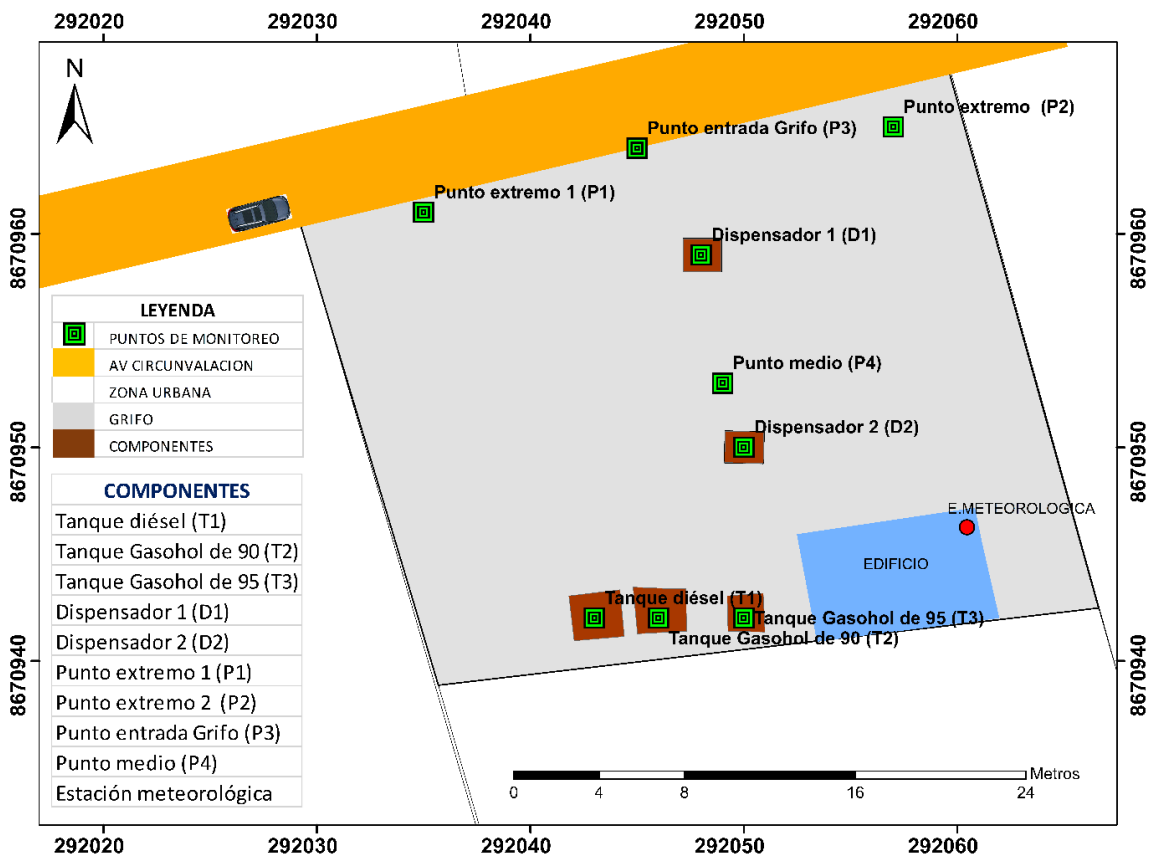


Figura 2. Vista de planta de la EDS y sus componentes.

2.2. Metodología

Con el fin de analizar las emisiones fugitivas por COVs generadas en una EDS de combustible en el Centro Poblado Santa María de Huachipa, Lima, se realizó la estimación de emisiones y monitoreos in situ para conocer las pérdidas evaporativas de COVs a la atmósfera. En el cálculo de estimación, se empleó la ecuación de estimación de emisiones atmosféricas del AP-42. Finalmente se estableció la relación de los COVs con la dispersión del aire mediante el uso del modelo gaussiano, basado en factores meteorológicos locales registrados y datos de la fuente de emisión aplicando el software SCREEN3.

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

2.2.1. Estimación de emisiones en la fuente

La estimación de las emisiones se realizó a partir de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales (Ministerio del Ambiente de Chile, 2019). Se utilizó la ecuación (1) para evaluar la cantidad de COVs atmosféricos provenientes de la EDS del Centro Poblado de Santa María de Huachipa.

$$\text{Emisiones} = \text{FE} * \text{N.A} * \left(1 - \frac{\text{EA}}{100}\right) \quad (1)$$

Donde:

FE = Factor de emisión (gr/L)

NA= Nivel de actividad (L/día)

EA= Eficiencia de abatimiento (%)

A continuación, se detalla el proceso de estimación de emisiones a partir de los factores de emisión para COVs dados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos también conocido por sus siglas en inglés como EPA y los niveles de actividad obtenidos a través de un registro diario durante una semana (25 al 31 de octubre del 2021) el cual describe las cantidades de combustible vendido en litros de la EDS del Centro poblado de Santa María de Huachipa.

Factor de emisión

El factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera por una actividad asociada a la emisión del contaminante (Ministerio del Ambiente de Chile, 2019), en la ecuación (2) se muestra esta relación .

$$\text{FE} = \frac{\text{E}}{\text{NA}} \quad (2)$$

Donde:

FE = Factor de emisión (g/L)

E = Emisión (g)

NA= Nivel de actividad (L)

Los factores de emisión para las EDS descritos en la Tabla 2, se basan en la Publicación AP-42 Sección 5.2 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2008). Se identificaron los siguientes procesos en la EDS donde existe pérdida de hidrocarburos por volatilización:

A. Llenado del tanque subterráneo por caída libre, proceso en el cual se conecta una tubería de llenado desde un camión cisterna hasta la boquilla del tanque subterráneo, generando turbulencia en el combustible almacenado, lo cual ocasiona que el vapor acumulado en el tanque se desprenda por la zona de venteo, durante este proceso se observa que se carece de una línea de retorno de vapor que devuelva las pérdidas del combustible del tanque de almacenamiento al camión cisterna. **B. Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo**, durante este proceso la pérdida ocurre de manera constante debido a la evaporación del combustible dentro del tanque subterráneo, ocasionado por la variación de la temperatura que va de 13°C a 25°C y cambios en la presión barométrica, que a su vez causan expansión y contracción tanto del líquido como del vapor dentro del tanque. **C. Llenado de vehículos**, este proceso se realiza por medio de una manguera, desplazando el hidrocarburo desde el dispensador hacia el tanque de la unidad móvil, no teniendo en cuenta el sistema de retorno de vapores. **D. Derrame**, son originados en los procesos de llenado de tanques de combustible de los vehículos cuando ocurre un desbordamiento, y al finalizar el despacho de combustible desprendiéndose gotas por la boquilla de la manguera del dispensador, también cuando se desconecta la manguera del camión cisterna en el proceso de llenado del tanque subterráneo siendo este último muy mínimo (Omar et al., n.d.).

Tabla 2*Factores de emisión para COVs en las EDS de combustible.*

FUENTE DE EMISIÓN	TASA DE EMISIÓN (mg/L)
Gasolina	
Llenado del tanque subterráneo por caída libre	1380
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120
Llenado de vehículos emisión sin control	1320
Derrames	80
Diésel	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos, contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo	176

Fuente: AP-42 Sección 5.2 (US EPA).

*Los factores se refieren tanto a los COVs como a las emisiones orgánicas totales.

*Incluye cualquier pérdida de vapor entre el tanque subterráneo y la bomba de agua.

Nivel de actividad

El nivel de actividad es un parámetro que influye directamente a la cantidad de emisiones de un proceso, corresponde la cantidad o volumen de combustible consumido o vendido en un cierto periodo de tiempo (Ministerio del Ambiente de Chile, 2019). Para establecer el nivel de actividad se realizó un seguimiento diario durante una semana desde el 25 al 31 de octubre del 2021, donde se registraron los volúmenes vendidos en litros como se observa en la tabla 4 para tres tipos de combustibles: gasohol de 90 octanos, gasohol de 95 octanos y diésel en la EDS del Centro poblado de Santa María de Huachipa.

Tabla 3*Combustible dispensado en la EDS del centro poblado de Santa María de Huachipa.*

DÍAS	GASOLINA 90 (L)	GASOLINA 95 (L)	DIÉSEL (L)
Lunes	362,9	108,2	1930,2
Martes	278,3	40,0	1306,7
Miércoles	337,5	136,1	1588,9
Jueves	574,9	57,5	2629,0
Viernes	352,0	60,6	1149,1
Sábado	409,3	46,1	1268,3
Domingo	593,6	185,4	1921,5
Total	2908,6	633,8	11793,6

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

Tabla 4*Promedio, máximo, mínimo de los niveles de actividad.*

	GASOLINA 90 (L)	GASOLINA 95 (L)	DIÉSEL (L)
Promedio	415.5	90.56	1684.81
Valor máximo	593.6	185.4	2629
Valor mínimo	278.3	40	1149.1

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

Nivel de abatimiento o tecnología de control de emisiones

El área de estudio no cuenta con un sistema de control que reduzca las emisiones provenientes de los procesos de servicio; llenado del tanque subterráneo, contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo, llenado de vehículos y derrames, debido a los altos costos de implementación.

2.2.2. Medición de emisiones en la fuente

Se desarrolló el monitoreo de evaporaciones fugitivas de COVs durante 24 horas continuas, desde 8:00 pm del 26 de octubre hasta las 8:00 pm del 27 del mismo mes del 2021, con el fin de obtener datos que refuerzan los resultados de las estimaciones. Para ejecutar el monitoreo se consideró el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B, 1999, y se contó con un medidor automático de detección de COVs RAE SYSTEMAS - MiniRAE 2000 (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1999). Se establecieron 9 puntos de monitoreo en el área de estudio como se observa en la figura 2, los puntos considerados corresponden a las ubicaciones de los tanques de almacenamiento de tres tipos de combustibles y dispensadores, gasohol de 95 octanos (T1), gasohol de 90 octanos (T2), diésel (T3), dispensador 1 (D1) y dispensador 2 (D2), además se consideraron puntos adicionales para determinar las concentraciones de COVs dispersado en la periferia cercana al área de estudio los cuales fueron, punto extremo 1 (P1), punto extremo 2 (P2), punto entrada grifo (P3), punto medio (P4). La tabla 5 muestra las especificaciones técnicas del monitoreo realizado.

Tabla 5*Características del método.*

METODO	TIPOS DE COMPUESTOS A DETERMINAR	MUESTREO Y ANÁLISIS	LÍMITE DE DETECCIÓN
TO14A app B	COVs totales	Procedimiento de Operación para un Cromatógrafo de Gas Portátil Equipado con un Detector de Fotoionización.	1 - 100.000 ppv

Fuente: (EPA, 1999)



Figura 3. Monitoreo de COVs, en tanques subterráneos de combustibles.

En la figura 3 se observa la medición de emisiones fugitivas por COVs emitidos al aire por los tanques subterráneos que almacenan los combustibles (gasohol de 90, 95 octanos y diésel), estas mediciones se realizaron con los equipos de protección correspondientes a la actividad como respirador de media cara con filtros para COVs, guantes de nitrilo, y lentes de seguridad



Figura 4. Monitoreo de COVs, evaporaciones fugitivas en el despacho de combustible.

En la figura 4 se observa la medición de emisiones fugitivas por COVs durante el despacho de combustible (gasohol de 90, 95 octanos y diésel). Las mediciones se realizaron a diferentes tipos de transportes como motos lineales, moto taxis, camiones de carga, transporte público, entre otros.

2.2.3. Registro de condiciones meteorológicas

El registro de la meteorología local se estableció mediante la instalación de una estación meteorológica automática DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS como se observa en la figura 5 ubicada en las coordenadas UTM 292056 Este y 8670947 Norte a una altura de 8 metros sobre el nivel del suelo. La medición se realizó desde las 8:00 pm del 26 de octubre hasta 8:00 pm 27 del mismo mes durante 24 horas continuas, registrándose los parámetros, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, humedad, presión y precipitación. El anemómetro y la veleta se ubicaron a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo para registrar la dirección y velocidad de viento representativas del lugar. Adicionalmente se amplió la data meteorológica con datos registrados por el Modelo Numérico de Predicción Meteorológica Global (GFS), creado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los Estados Unidos teniendo un registro total de 168 horas continuas de la meteorología local correspondiente a siete días desde el 25 de octubre al 31 del mismo mes.



Figura 5. Ubicación de la estación meteorológica modelo DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS.

Para la determinación de las condiciones de estabildades atmosféricas que describe la tendencia de la mezcla en la atmosfera entre aire y un contaminante debido a la generación de turbulencias por fuerzas naturales, se ha tomado el esquema de Pasquill y Gifford en el cual se han aplicado letras de la A hasta la G, cada letra resume el comportamiento de la mezcla en la atmósfera bajo distintas condiciones, presentes en el área de estudio (Cabrera, 2012).

Tabla 6

Clasificación de la estabilidad atmosférica, según Pasquill.

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	INSOLACIÓN SOLAR FUERTE	INSOLACIÓN SOLAR MODERADA	INSOLACIÓN SOLAR LIGERA	NOCHE NUBLADA LIGERAMENTE	NOCHE CON UN NÚMERO CONSIDERABLE DE NUBES
< 2	A	A – B	B	–	–
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 4	B	B – C	C	D	E
4 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo gaussiano de la columna de humo.

2.2.4. Modelo gaussiano

Para determinar la dispersión de los COVs en el área de estudio se desarrolló un modelo de pluma gaussiana, asumiendo que el contaminante no tiene ninguna reacción química y ningún otro proceso de remoción (deposición húmeda o seca) que actúa sobre la pluma durante su transporte desde la fuente. El modelo incorporó parámetros relacionados a la fuente, condiciones meteorológicas, topografía del terreno y receptores (poblaciones cercanas) para calcular las concentraciones del contaminante emitidos por la EDS de forma continua (Molano & Diaz, 2019).

La formulación matemática está basada en la ecuación de pluma gaussiana como se muestra en la ecuación 3:

$$C(X, Y, Z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (3)$$

Donde:

C (x, y, z): Concentración en los puntos de coordenadas (x, y, z).

Q: Tasa constante de emisión (µg/s).

σ_y: Coeficiente de dispersión horizontal (m).

σ_z: Coeficiente de dispersión vertical (m).

u: Velocidad constante del viento (m/s).

h: Altura efectiva (m).

El modelo de pluma gaussiana consideró la suma de todas emisiones COVs generadas en la EDS como una chimenea y fuente puntual. Las dimensiones del modelo fueron de 5km por 5km teniendo como centro de esta área el origen de la emisión, el área del modelo contiene una topografía sencilla y plana, la cobertura del suelo del área corresponde a urbana. La fuente de emisión presenta una tasa de 0.043 g/s, la altura de la chimenea fue de 1.5 metros, el diámetro de la chimenea fue de 2 metros, la velocidad de salida de la emisión fue de 0.5 m/s, la temperatura volatilización de la emisión fue 293°K, la temperatura ambiental fue de 293°K. La meteorología de entrada contiene las direcciones, velocidades del viento y estabilidades atmosféricas de forma horaria continua, la altura del anemómetro fue de 10 metros sobre el nivel del suelo

Tabla 7

Fórmulas para los coeficientes de dispersión para suelo urbano.

ESTABILIDAD	σ _y	σ _z
A-B	0.32 x (1+0.0004x) ^{-1/2}	0.24 x (1+0.0001x) ^{-1/2}
C	0.22 x (1+0.0004x) ^{-1/2}	0.20x
D	0.16 x (1+0.0004x) ^{-1/2}	0.14 x (1+0.0003x) ^{-1/2}
E-F	0.11 x (1+0.0004x) ^{-1/2}	0.08x (1+0.0015x) ^{-1/2}

Fuente: Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo Gaussiano de la columna de humo.

La tabla 7 muestra los coeficientes de dispersión donde los valores típicos de los coeficientes de dispersión están en función de la distancia a la fuente y en función de las estabilidades atmosféricas, la cual describe el desplazamiento de masas de aire a bajos niveles de altura sobre el suelo debido a la generación de turbulencias, para coberturas de suelo urbano, donde A indica muy inestable, B o C inestable, D neutral, E estable y F muy estable.

3. Resultados y discusiones

A partir de los datos registrados y los factores de emisión del AP-42, se calculó la estimación de emisiones de COVs que se evaporan en los distintos procesos de la EDS. Seguidamente se ordenaron los datos del monitoreo in situ de concentración de COVs, condiciones meteorológicas y se cargaron los datos de entrada para ejecutar el modelo de la pluma Gaussiana en el software SCREEN3. Obteniendo los siguientes resultados.

3.1. Estimación de emisiones en la EDS

Como indica en la metodología para la estimación de las emisiones de COVs se ejecutó el producto de Factor de emisión por el Nivel de actividad para cada proceso de evaporación de hidrocarburos en la EDS. Para determinar los valores resultantes se tuvieron en cuenta los parámetros siguientes, frecuencia de llenado de combustible al tanque subterráneo, el volumen del tanque y la tecnología de control. En la tabla 8, se muestra la tasa de emisión por cada segundo de COVs de los combustibles gasolina y diésel, de los cuales el llenado del tanque por caída libre representa el mayor porcentaje de emisión 57.65%, contrario al derrame de combustible con 0.001% siendo no significativo para esta investigación, los valores “medios” se encuentran en el proceso o fuente de llenado de vehículo con 25,7% y en la contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo con 16.6%.

Tabla 8

Tasa de emisión de COVs en g/s de la EDS.

FUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (g/s)
Gasolina y Diésel	
Llenado del tanque por caída libre	0.025
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	0.007
Llenado de vehículos emisión sin control	0.011
Derrame	4,8E-07
Total	0.043

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

La tabla 9, detalla las pérdidas evaporativas durante siete días continuos del 25 al 31 de octubre, diferenciadas por el tipo de combustible de la EDS. Asimismo, se muestra que el combustible más vendido fue el diésel en comparación con la gasolina. La mayoría de las emisiones COVs se producen por la gasolina debido por su alta volatilidad en comparación con otros combustibles como el diésel, queroseno, etc. (EMEP, 2019).

Tabla 9

Emisiones de combustibles por evaporación en los procesos de la EDS.

	UNIDAD	GASOLINA	DIÉSEL
Combustible Vendido Total	(L)	3542.4	11793.6
Emisiones Total	(Kg)	17,5	8,8
Tasa de Emisión	(g/s)	0.029	0.014

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

3.2. Modelado de dispersión de COVs

Para la modelización se empleó el software SCREEN3 un modelo de dispersión de tipo gaussiano, que entrega los resultados de dispersión atmosférica, tales como: Máxima concentración, altura de pluma y parámetros de dispersión. Para facilitar el modelo se realizó la unión de los puntos de emisiones en una sola chimenea representativa(ver figura2) (EPA, 2000), y se estableció como fuente principal de la EDS la ubicación del dispensador de combustible

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

correspondiente a la zona de estudio extendiendo el dominio del modelo a 5 km al norte (N) en dirección al viento predominante, de esta manera se aseguró una distancia de 5 km alrededor de la fuente de emisión. Además, se generó el gráfico de dispersión de COVs para una visualización de la pluma sobre el área de estudio.

La tabla 10, muestra los resultados del modelo aplicado para la dispersión de los COVs de la EDS generando valores de concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a diferentes distancias preestablecidas que van de 10 m hasta los 5000 m. Se observa que las concentraciones van disminuyendo a medida que se alejan del origen de la emisión. La velocidad inicia con 4 m/s a 10 m del origen y se mantiene en 1 m/s a partir de los 100 m, la altura de la pluma sobre el suelo es 0.75 m a los 10 m del origen y se mantiene en 2.91m a partir de 100 metros del origen en dirección del viento predominante, la altura de la mezcla en condiciones estables tiene un valor de 10 000 m, la cual se mantiene constante, para representar un mezclado ilimitado (EPA, 2000). Los parámetros de dispersión lateral (Y) y vertical (Z) muestran valores en ascenso conforme nos alejamos del origen de la emisión lo cual indica que la pluma se expande de forma lateral y vertical en el espacio, ocupando un mayor volumen de aire y generando una mayor dispersión de los COVs lo que se ve reflejado en la tendencia a la reducción de los valores de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente se puede observar en la tabla 10 que a los 5000 m el COV modelado tiene un valor de $0.3141 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es un potencial de afectación a la población local presente en el ambiente.

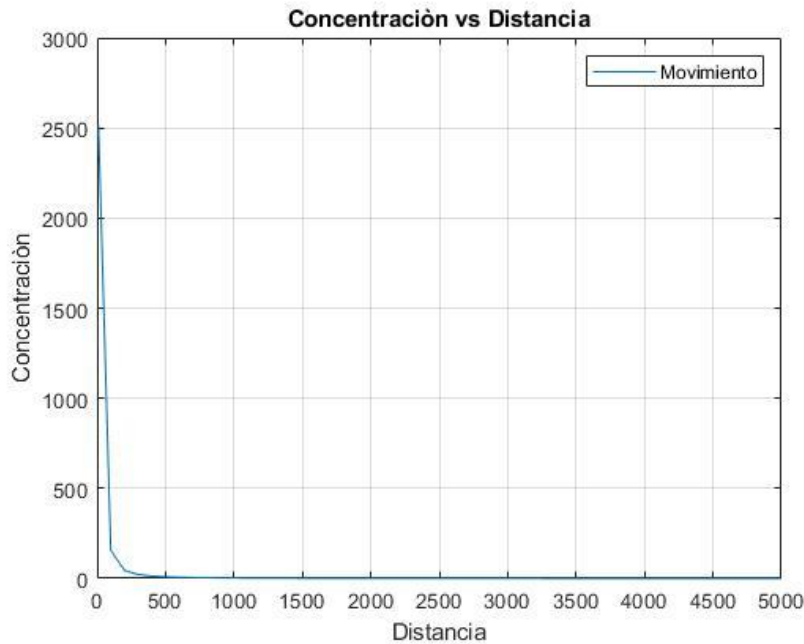


Figura 6. Concentración de COVs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vs distancia (m).

La figura 6, muestra gráficamente la disminución de la concentración de los COVs en función a la distancia, esto significa una relación inversamente proporcional entre ambas variables. Además, se observa que el contaminante se va desplazando y diluyendo relativamente decreciente. La concentración más elevada se encuentra en los 10 m primeros metros del origen con $2509 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y a los 100 m de distancia disminuye en un 83.97% equivalente a $156.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo las dos concentraciones más significativas que se dirigen hacia el norte desde el origen. Por último, se observa que al llegar a una distancia de 500 m el contaminante permanece en un rango de $8.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0.3141 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los 5 Km favorecido por las condiciones climáticas de la zona.

Tabla 10*Salidas del modelo SCREEN3.*

DIST. (m)	CONC. (ug/m³)	STAB.	VEL. (m/s)	VEL. HT. (m/s)	ALT. MEZ. (m)	ALT PLU (m)	SIG. Y(m)	SIG. Z(m)
10	2509	6	4	4	10000	0.75	1.1	0.80
100	156.3	6	1	1	10000	2.91	10.82	7.51
200	44.98	6	1	1	10000	2.91	21.19	14.06
300	21.76	6	1	1	10000	2.91	31.19	19.95
400	13.15	6	1	1	10000	2.91	40.86	25.31
500	8.97	6	1	1	10000	2.91	50.21	30.25
600	6.606	6	1	1	10000	2.91	59.28	34.83
700	5.126	6	1	1	10000	2.91	68.06	39.12
800	4.131	6	1	1	10000	2.91	76.6	43.16
900	3.426	6	1	1	10000	2.91	84.9	46.97
1000	2.905	6	1	1	10000	2.91	92.97	50.60
1100	2.507	6	1	1	10000	2.91	100.84	54.06
1200	2.196	6	1	1	10000	2.91	108.51	57.38
1300	1.946	6	1	1	10000	2.91	115.99	60.56
1400	1.743	6	1	1	10000	2.91	123.3	63.62
1500	1.575	6	1	1	10000	2.91	130.45	66.57
1600	1.433	6	1	1	10000	2.91	137.44	69.42
1700	1.313	6	1	1	10000	2.91	144.28	72.19
1800	1.21	6	1	1	10000	2.91	150.98	74.87
1900	1.121	6	1	1	10000	2.91	157.54	77.47
2000	1.043	6	1	1	10000	2.91	163.98	80.00
2100	0.9739	6	1	1	10000	2.91	170.30	82.47
2200	0.9131	6	1	1	10000	2.91	176.50	84.88
2300	0.8589	6	1	1	10000	2.91	182.59	87.23
2400	0.8103	6	1	1	10000	2.91	188.57	89.52
2500	0.7666	6	1	1	10000	2.91	194.46	91.77
2600	0.7271	6	1	1	10000	2.91	200.24	93.97
2700	0.6911	6	1	1	10000	2.91	205.93	96.12
2800	0.6584	6	1	1	10000	2.91	211.54	98.23
2900	0.6284	6	1	1	10000	2.91	217.05	100.31
3000	0.6009	6	1	1	10000	2.91	222.49	102.34
3500	0.4916	6	1	1	10000	2.91	248.52	112.00
4000	0.4146	6	1	1	10000	2.91	272.88	120.95
4500	0.3577	6	1	1	10000	2.91	295.82	129.32
5000	0.3141	6	1	1	10000	2.91	317.54	137.2

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

Entre las condiciones meteorológicas en el área de estudio que influyen en la evaporación de COVs se puede mencionar a la dirección y velocidad del viento, la temperatura y estabilidad atmosférica, principalmente. Los valores promedios de temperatura durante el día tuvieron un mínimo de 13.8°C a las 2 am y un máximo de 21.9 °C a las 13 horas, esto corresponde con el comportamiento diario general de la temperatura de la zona durante el periodo de primavera. Para determinar la estabilidad atmosférica en la zona de estudio se utilizó la clasificación Gifford y Pasquill, obteniéndose una categoría de tipo E, como la más predominante, que correspondió a una atmósfera estable como se observa en la tabla 11, estas velocidades incluyen calma y ventolina, que para la dispersión de contaminantes se comportan de manera similar (Vidal et al., 2018). Según Vidal & Perez, (2018) en una atmósfera estable los contaminantes presentarán baja dispersión y, como consecuencia, la concentración de estos aumentará. Esta situación, unida a condiciones meteorológicas y climatológicas desfavorables, puede causar impactos negativos sobre la población. La exposición a los COVs a largo plazo puede causar afecciones a la salud como, lesiones al hígado, riñones, sistema nervioso central y ser cancerígenos. A corto plazo puede causar irritación a las vías respiratorias, trastornos de la memoria, entre otros (RISCTOX, 2010). La tabla 11 muestra que en el área de estudio se obtuvieron velocidades estables desde las 18 horas hasta las 7 am del día siguiente, las cuales no favorecieron a la circulación de la atmósfera ni a la dilución de la emisión, generando mayor concentración de COVs, por lo que se puede afirmar como un indicador de contaminación a la población adyacente. Asimismo, el comportamiento del viento desde las 8

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

am hasta las 17 horas durante el día, fueron considerados los que más facilitan el transporte y dispersión de los contaminantes.

Tabla 11

Condiciones meteorológicas locales en la EDS para el periodo de estudio.

HORA	DIRECCIÓN	VELOCIDAD	TEMPERATURA	ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA	DESCRIPCIÓN DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA
0	SW	0.4	14.4	E	ESTABLE
1	S	0.5	14.1	E	ESTABLE
2	S	0.4	13.8	E	ESTABLE
3	S	0.4	13.9	E	ESTABLE
4	S	0.4	13.8	E	ESTABLE
5	S	0.5	14.8	E	ESTABLE
6	E	0.5	15.3	E	ESTABLE
7	W	0.6	16.1	E	ESTABLE
8	S	1.9	16.9	B	INESTABLE
9	S	3.3	19.0	B	INESTABLE
10	SW	2.9	19.9	B	INESTABLE
11	SW	4.7	20.8	B - C	INESTABLE
12	SW	5.4	21.8	C	INESTABLE
13	S	5.6	21.9	C	INESTABLE
14	S	5.4	21.8	B - C	INESTABLE
15	S	4.7	20.4	B	INESTABLE
16	S	3.4	19.1	B	INESTABLE
17	S	2.7	17.9	C	INESTABLE
18	S	1.8	15.8	E	ESTABLE
19	SW	1.2	15.4	E	ESTABLE
20	S	1.1	15.5	E	ESTABLE
21	S	0.6	14.5	E	ESTABLE
22	SW	0.5	14.5	E	ESTABLE
23	SW	0.6	13.9	E	ESTABLE

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

La ubicación topográfica del área de estudio expuesta a la contaminación por COVs, se obtuvo a partir de imágenes satelitales, como se muestra en la Figura 7, en la cual se observa la pluma de dispersión sobre terreno plano extendiéndose hacia la población urbana. Por otro lado, se describe la distribución del viento en la EDS de Santa María de Huachipa del 25 al 31 de octubre, donde la predominancia de la dirección del viento fue de sur a norte, registrando una velocidad que oscila entre 0 - 6 m/s como se observa en la figura 8. El viento permite que la emisión de COVs se diluya en el aire, disminuyendo su densidad en cada tramo que recorre, e incrementando los coeficientes de dispersión (anchura y altura de la pluma gaussiana). La altura es un factor importante en la dispersión de COVs, debido a que cuanto más alta sea la chimenea, más lejos tendrá lugar el máximo de concentración, además que el contaminante requiere cierto tiempo para llegar al suelo (Vian, 2012). En este estudio la chimenea fue de 1.50 m de altura, influenciada por vientos de baja velocidad de 0-2 m/s que representa el 46%, vientos de 2 a 4 m/s con un 15 %, vientos de 4 a 6 m/s con un 16 %, originando una elevada concentración de contaminantes en el medio aéreo, debido a la baja velocidad del viento que no favorece la dispersión máxima. Según Vian, (2012) Para una mejor dispersión de los contaminantes atmosféricos, se usan chimeneas de gran altura, la cual consigue que el penacho se abra y se diluya antes de alcanzar el nivel del suelo, evitando que alcance a receptores sensibles, no obstante, la dilución no resuelve el problema de la contaminación atmosférica (Spiegel & Maystre, n.d.).

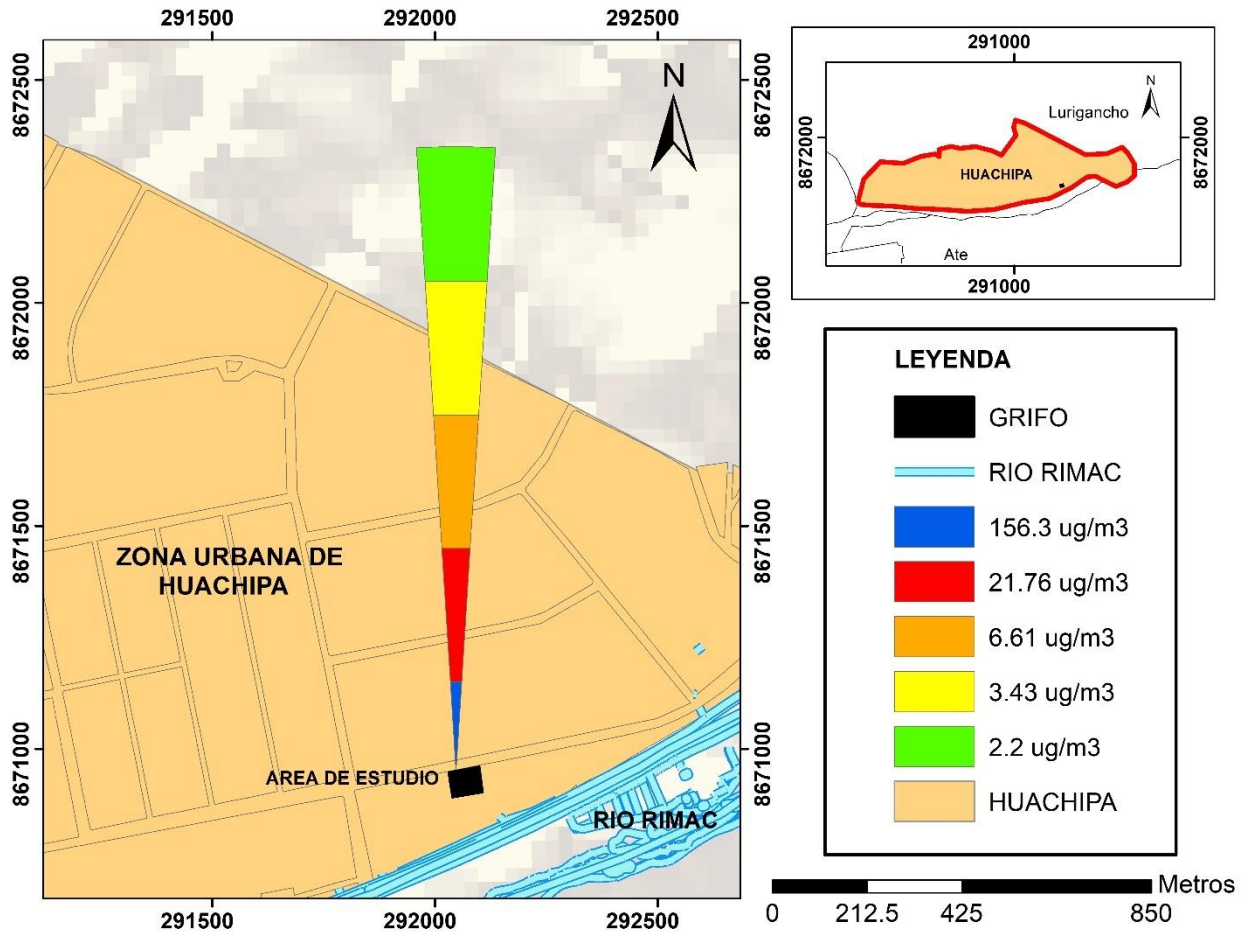


Figura 7. Mapa de dispersión de COVs en la EDS de Santa María de Huachipa

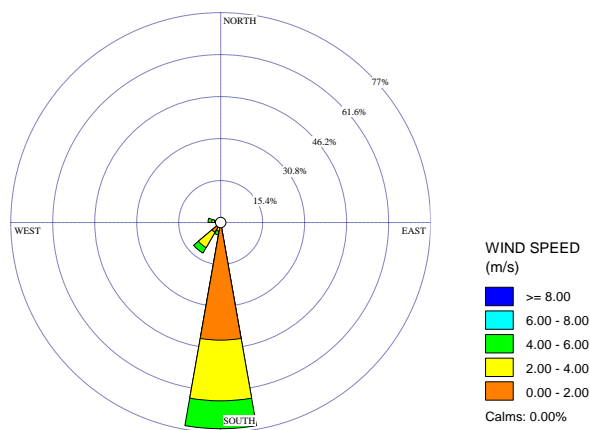


Figura 8. Rosa de vientos en la EDS de Santa María de Huachipa para el periodo de estudio

3.3. Concentraciones de COVs modeladas vs medidas

La tabla 12 muestra las concentraciones medidas de los puntos extremos y punto medio del área de estudio, en las diferentes horas del día. La mayor concentración se presenta en el P1 con un promedio de 47442.5 ug/m³, seguido por P3 (47127.2 ug/m³) y P2 (46812.0 ug/m³) debido a que el viento predominante va desde sur a norte, dispersando los gases contaminantes en estos puntos. Asimismo, la más alta concentración de COVs se registró en la jornada de la noche (20-5 horas) con un promedio de 47014.67 ug/m³, en comparación con la jornada matutina (6-12 horas) con un promedio de 23912.6 ug/m³ y la jornada tarde (13-19 horas) con un promedio 21683.5 ug/m³, los valores obtenidos fueron afectados por las condiciones atmosféricas, por ejemplo, la velocidad del viento y la humedad, permitiendo la acumulación de estos contaminantes (Rattanajongjitrakorn & Prueksasit, 2014).

Según Omar et al., (n.d.) En su trabajo titulado “Pérdidas evaporativas por almacenamiento y distribución de combustibles en estaciones de servicio” determinan que las pérdidas evaporativas de COVs de los hidrocarburos en la Etapa I (Transferencia del camión cisterna al tanque subterráneo) de 38% del total de las emisiones, en la Etapa II (Transferencia del tanque subterráneo a los vehículos) se perdió un 36%, en la evaporación de combustible del tanque subterráneo se perdió un 21 %, en los derrames de combustibles fue un 2% y en las pérdidas por respiración del tanque subterráneo fue un 3%.

Al analizar las concentraciones de COVs modeladas (ver tabla 10) vs las concentraciones medidas (ver tabla 12) a los 10 m del origen se observa que esta última supera en 1800% la concentración de COVs modeladas, con una dispersión promedio de 47127.2 ug/m³ a esa distancia, las cuales son direccionadas por el viento predominante hacia la población adyacente afectando la salud y la calidad ambiental. Además, las concentraciones modeladas representan un 5% de los COVs medidos. Según Rodríguez & López, (2018) en su investigación sobre caracterización de COVs, provenientes de seis estaciones de servicio de combustibles de la ciudad de Barranquilla, Colombia, muestra como resultado valores altos de COVs medidos mediante el equipo automático de medición de COVs, HAL-HVX50y1, similares a los presentados en esta investigación. Utilizar un medidor automático de detección de COVs en el aire permite conocer los resultados de manera inmediata, exacta y a tiempo real, mientras que en el uso de otros equipos o métodos existe la posibilidad de alterarse los datos reales ya que llevan más tiempo de analizar, además que el COV tiene la propiedad de volatilizarse con rapidez.

Los COVs están formados por diferentes componentes orgánicos principalmente benceno, tolueno, xileno, hexano, heptano, octano, ciclohexano entre otros, los cuales debido a sus características representan un riesgo ambiental. De acuerdo a bibliografías, en sitios urbanos con actividad comercial y de servicios predominantes, el porcentaje para el benceno representa el 3.32%, tolueno 12.95% y xileno 21.36% (Sbarato, 2018). Actualmente, el Perú carece de normativa ambiental para COVs, por lo que los resultados obtenidos en la presente investigación fueron comparados con un solo parámetro, el benceno (el componente más tóxico y dañino para la salud), y también con los criterios internacionales de benceno como México, la Comunidad Europea, la Provincia de Córdoba y entre otras organizaciones ver tabla 13, quienes establecieron como límite máximo permisible, 0.26 ug/m³, 5 µg/m³ y 0.5 µg/m³, respectivamente, en promedio anual del benceno. Aún no existen normas para COVs totales, sin embargo y en vista de la preocupación a nivel internacional sobre sus efectos, es de esperarse una norma al respecto (Bekerman, Dulcich, & Moncaut, 2014).

Tabla 12*Concentración de COVs en los puntos de control P1, P3 y P2.*

HORA	CONCENTRACIÓN ug/m ³			
	P1	P3	P2	Promedio
0	45866,3	44447,8	44447,8	44920.6
1	0,0	0,0	0,0	-
2	0,0	0,0	0,0	-
3	0,0	0,0	0,0	-
4	48230,6	47284,9	47284,9	47600.1
5	50122,0	48703,4	47757,7	48861.0
6	27898,1	24115,3	22223,9	24745.7
7	27898,1	24115,3	22223,9	24745.7
8	51540,5	45393,5	39246,4	45393.5
9	51540,5	45393,5	39246,4	45393.5
10	13239,8	13712,6	12766,9	13239.8
11	14185,5	12294,1	13239,8	13239.8
12	22696,7	18913,9	18441,1	20017.3
13	26479,5	23169,6	21278,2	23642.4
14	21751,0	19859,6	19386,8	20332.5
15	21751,0	19859,6	19386,8	20332.5
16	10875,5	11821,2	14185,5	12294.1
17	22696,7	28370,9	26006,7	25691.4
18	23642,4	23642,4	28843,8	25376.2
19	26479,5	24115,3	22696,7	24430.5
20	44920,6	43974,9	41610,7	43502.1
21	55796,1	58633,2	55796,1	56741.8
22	47757,7	46339,2	45393,5	46496.8
23	48703,4	46812,0	46812,0	47442.5
Promedio	47442.5	46812.0	47127.2	47127.2

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

Tabla 13*Concentraciones límites del benceno.*

ORGANIZACIÓN	BENCENO
Organización mundial de la salud (WHO)	5-20 ug/m ³ (anual)
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] Resolución 2254	5ug/m ³ (anual)
Directiva Europea de Calidad del Aire(2000/69/CE). RD 1073/2002 (España).	5 ug/m ³ (anual)
ECA –Perú	2 ug/m ³ (anual)

Fuente: (Rodríguez & López, 2018).

3.4. Impactos sobre la población en estudio y el ambiente

La tabla 14 muestra, los niveles de COVs y benceno, los cuales parten desde el Punto Medio de la zona de estudio hasta los 100 metros, abarcando la mayor concentración del contaminante y sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) - Perú para benceno de 2 ug/m³. Dentro de este rango de distancia se encuentran los trabajadores de la EDS, 2 personas que están repartidos por turnos de mañana-tarde y noche-madrugada y que laboran 12 horas por día, además viviendas que en conjunto albergan alrededor de 1500 habitantes, esto debido a la distancia de su ubicación con respecto a la fuente y está influenciado por las bajas velocidades del viento local, generando poca capacidad para diluir la concentración de los contaminantes en el aire. De esta manera, dicha población está propensa a la inhalación de COVs, y a sufrir los efectos negativos al sistema nervioso central generando problemas neurológicos

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

como pérdida de memoria, dolores de cabeza y cansancio. La exposición a largo plazo también produce daños renales, hepáticos y respiratorios en los seres humanos.

Tabla 14

Dispersión de COVs y benceno en el ambiente en ug/m3.

DISTANCIA DEL ORIGEN (m)	COVs (ug/m³)	BENCENO (ug/m³)
10	2509.00	83.299
100	156.30	5.189
200	44.98	1.493
300	21.76	N.S.
400	13.15	N.S.
500	8.97	N.S.
600	6.61	N.S.
700	5.13	N.S.
800	4.13	N.S.
900	3.43	N.S.
1000	2.91	N.S.
1100	2.51	N.S.
1200	2.20	N.S.
1300	N.S.	N.S.

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

*N.S.: Valor no significativo para el ECA - Benceno

De igual forma, los COVs causan efectos negativos en el ambiente como la formación de O₃ a nivel troposférico, zona de la atmósfera más cercana a la superficie terrestre. La acumulación de estas sustancias tóxicas en el aire genera una nube gris conocida como smog industrial o fotoquímico, la cual puede cubrir una ciudad entera, además es un fuerte gas de efecto invernadero y contaminante tóxico para las plantas, que alteran su función fotosintética y el rendimiento de los cultivos (Lai & Nguyen, 2020).

4. Conclusiones

Las estimaciones realizadas para cada tipo de combustible que se evaporan en los distintos procesos de la EDS determinaron que la tasa de emisión de COVs varía en el proceso de la venta de combustibles gasolina y diésel, en el llenado del tanque por caída libre representa el 57.65%, contrario al derrame de combustible con 0.001%, en la dispensación a vehículos 25.7% y en la contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo con 16.6%. Además, las pérdidas evaporativas de la gasolina por una semana fue 17.5 kg de COVs, y del diésel fue 8.8 kg de COVs, a pesar que la gasolina se vendió en cantidad menor al diésel, tuvo una mayor emisión del contaminante debido a su alta volatilidad, así mismo la gasolina tiene una mayor tasa de emisión de COVs.

En el modelado de dispersión de COV las concentraciones del contaminante disminuye a medida que se aleja del origen de la emisión. A los 5000 m de distancia en dirección norte el COV modelado tiene un valor de 0.3141 ug/m³, el cual es un potencial de afectación a la población local presente en el ambiente. Entre las condiciones meteorológicas que influyeron en la evaporación de COVs se puede mencionar a la dirección, velocidad del viento, temperatura y estabilidad atmosférica. Se obtuvo una clasificación atmosférica de una categoría de tipo E, como la más predominante, que corresponde a una atmósfera estable, motivo por el cual los contaminantes presentan baja dispersión.

Al analizar las concentraciones de COVs modeladas y las concentraciones medidas a los 10 m del origen, esta última supera en 1800% a los COVs modelados, con una dispersión promedio de 47127.2 ug/m³, además las concentraciones modeladas representan un 5% de los COVs medidos. Las altas concentraciones de COVs medidos, se presenciaron en la jornada noche (20 - 05 horas), en comparación con la jornada matutina (06 - 12 horas) y la jornada tarde (13 - 19 horas), los valores obtenidos fueron afectados por las condiciones atmosféricas, como la velocidad del viento y la humedad, permitiendo la acumulación de estos contaminantes en el aire a bajos niveles de altura.

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

Finalmente, los COVs son un conjunto de compuestos siendo el benceno uno de sus componentes más tóxicos para el hombre y el ambiente. Los niveles de COVs, benceno modelados y medidos in situ a los 10 metros de distancia, registran la mayor concentración del contaminante y sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA-Aire) - Perú para benceno de 2 ug/m³. Mientras que, los COVs modelados, se dispersan con niveles altos hasta los 1200 metros de distancia, y el benceno modelado, sobrepasa el ECA hasta los 100 metros de distancia. En ese sentido utilizar el modelo SCREEN3 resultó una herramienta muy accesible para el análisis de la calidad del aire, a través de la modelización de la dispersión de los contaminantes COVs, además es de gran utilidad para contribuir a la gestión ambiental sirviendo como instrumento de apoyo en la vigilancia y protección de la salud pública.

5. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar un registro de las condiciones meteorológicas en la zona de estudio para diferentes estaciones (verano, otoño, invierno y primavera), con el fin de tener un mayor periodo de análisis y determinar su influencia en la pérdida de COVs en diferentes épocas del año. Utilizar modelos mejorados, que contemplen mayores condiciones meteorológicas, mayor cantidad de datos y tiempo, como AERMOD EPA o CALPUFF de tal manera que los resultados tengan una mayor representatividad. Se recomienda ejecutar estudios de exposición a los niveles de COVs presentes en el aire, en los trabajadores de la EDS y a la población cercana potencialmente afectada. Desarrollar experimentos similares a esta investigación, y añadir mayores puntos de monitoreo de COVs a diferentes distancias, según la distribución del modelo SCREEN3, para realizar un análisis completo de los datos medidos en campo vs las concentraciones modeladas.

Por último, es importante y necesario que las autoridades en materia ambiental realicen inventarios de emisiones de COVs en las EDS con el fin de establecer medidas regulatorias y facilitar su uso para futuras investigaciones. Además, de legislar y establecer los parámetros COVs dentro del ECA-Aire.

6. Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos la capacidad e inteligencia para elaborar este artículo de investigación. También a nuestro asesor Dario Ccaccya Ccaccya por su acompañamiento y orientaciones técnicas, a la señora Olga A., representante legal de la EDS, quien nos proporcionó la autorización para la realización del presente estudio; además agradecer al Sr. José Luis Quequejana Condori gerente general de la consultora ambiental y en salud ocupacional INVEMSAC, por impulsar la investigación científica. Asimismo, a nuestros padres y familiares quienes son una fuente de motivación para seguir adelante. Finalmente, a nuestros amigos Ricardo Iman y Elena Gonzales, por sus consejos y motivaciones.

7. Referencias

- Bekerman, M., Dulcich, F., & Moncaut, N. (2014). La emergencia de China y su impacto en las relaciones comerciales entre Argentina y Brasil. *Problemas Del Desarrollo*, 45(176), 55–82. [https://doi.org/10.1016/s0301-7036\(14\)70850-8](https://doi.org/10.1016/s0301-7036(14)70850-8)
- Cabrera, J. (2012). APLICACION DE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO.
- Camargo, Y., Bolaño, T., & Álvarez, A. (2010). EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES DE ORIGEN BIOGÉNICO Y SU CONTRIBUCIÓN A LA DINÁMICA ATMOSFÉRICA. (7), 77–86.
- EMEP. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.
- EPA. (2000). Guía del Usuario del Modelo SCREEN3. 31.
- EPA. (2008). AP-42 Section 5.2: Transportation and marketing of petroleum liquids. U.S.A.
- EPA, U. (1999). Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

Second Edition U. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, (EPA/625/R-96/010b), 37. Retrieved from <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/tocomp99.pdf>

Lai, H., & Nguyen, O. (2020). Emission control for volatile organic compounds from gasoline stations and implication on ozone-forming potential. *Atmospheric Pollution Research*, 11(6), 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.03.002>

López, A., & Peña, J. (2020). “ Plan de Manejo de Residuos Sólidos de l Centro Poblado Santa María de Huachipa ., Centro poblado de Santa María de Huachipa.

Ministerio del Ambiente de Chile. (2019). Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales - Ministerio del Medio Ambiente.

Molano, L., & Diaz, C. (2019). Análisis y verificación del modelo gaussiano de dispersión métodos teóricos y experimentales. (pp. 1–13). pp. 1–13.

Omar, E., Dario, S., Adolfini, K., Eduardo, R., Viviana, S., Emilio, O. J., ... Manuel, C. (n.d.). distribución de combustibles en estaciones de.

Osinermin. (Setiembre de 2019). Obtenido de https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Reportes_de_Mercado/Osinermin-RSMMH-I-2019.pdf

Quispe Cordova Braulio, & Jesus. (2027). Gestión Ambiental y efluentes domésticos del río Huaycoloro, Estación de muestreo E-17, Santa María de Huachipa, 2017 TESIS. 114.

Rattanajongjitakorn, P., & Prueksasit, T. (2014). Temporal variation of BTEX at the area of petrol station in. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.10.011>

RISCTOX. (Julio de 2010). ISTAS:BBDD RISCTOX. Obtenido de ISTAS:BBDD RISCTOX: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>

Rodríguez, E., & López, H. (2018). Caracterización de compuestos orgánicos volátiles, provenientes de seis estaciones de servicio de combustibles de la ciudad de Barranquilla, Colombia.

Sbarato, R. (2018). Estimación de COV´s emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la ciudad de Córdoba, Argentina. Tesis de Doctorado En Ciencias de La Salud, 130.

Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., Hansen, G., Kadner, S., Scholomer, S., ... von Stechow, C. (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. In Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Solano, David; Cuba, Amalia; Narciso, J. (2017). David Solano C. / Amalia Cuba S. / Juan Narciso Ch.

Spiegel, J., & Maystre, L. (n.d.). Control de la contaminación ambiental.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1999). Compendium Method TO-14A Determination Of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Ambient Air Using Specially Prepared Canisters With Subsequent Analysis B. Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air Second Edition, (January).

Vian, Á. (2012). Introducción a la química industrial (Segunda). Barcelona.

Vidal Daza, O. A., & Perez Vidal, A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: rocydelacruz@upeu.edu.pe, evahuamani@upeu.edu.pe, mercymorales@upeu.edu.pe, Teléfono: +51 967383008

por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31.
<https://doi.org/10.14483/23448393.12262>

Vidal Ros, I., López Lee, R., Cuesta Santos, O. A., Bolufé Torres, J., & García Valdés, E. (2018). Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(2), 146–158.

Zheng, H., Kong, S., Xing, X., Mao, Y., Hu, T., Ding, Y., ... Liu, D. (2018). Monitoring of volatile organic compounds (VOCs) from an oil and gas station in northwest China for 1 year. 4567–4595.