



**Universidad Científica del Perú - UCP**  
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE ECOLOGIA**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL  
AIRE POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN LA  
CIUDAD DE IQUITOS, LORETO, 2021”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADA EN ECOLOGIA**

**AUTORA : Bach. Nollie Jocelyn Gonzales Rojas**

**ASESOR: Ing. Marco Antonio Paredes Riveros MsC.**

**Región Loreto, Perú**

**2022**

## DEDICATORIA

*A Dios: por iluminarme y guiarme siempre al estar conmigo en todo momento en el camino durante toda la vida y permitirme seguir adelante dándome las fuerzas necesarias para culminar mis estudios y lograr mis metas. A mis padres: por haberme dado una buena educación, comprensión, paciencia, apoyo en todo momento y sobre todo darme ánimos para seguir adelante.*

***Agradecimiento.***

*Mi agradecimiento ante todo es para Dios por ser mi guía y acompañante en mi vida, y por siempre llenarme de fortaleza y energía para seguir adelante cada día.*

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N°391-2022-UCP-FCEI de fecha 20 de abril de 2022, La FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila, Dra.
- Lic. Ecol. José Lisbino Cruz Guimaraes, M. Sc.
- Ing. Gustavo Fernando Gamarra Ramírez, Mgr.

Presidente  
Miembro  
Miembro

Como Asesor: Ing. Marco Antonio Paredes Riveros, Mg.

En la ciudad de Iquitos, siendo las 09:00 horas del día 14 de Noviembre del 2022, en las instalaciones de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: "EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTICULAS EN SUSPENSIÓN EN LA CIUDAD DE IQUITOS, LORETO, 2021".  
Presentado por la sustentante:

### GONZALES ROJAS NOLLIE JOCELYN

Como requisito para optar el título profesional de: **LICENCIADO EN ECOLOGIA**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: *absueltas*  
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: *Aprobada por Unanimidad*

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

Iquitos - Perú  
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto - Perú  
42 - 58 5638 / 42 - 58 5640  
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagnan 933

Universidad Científica del Perú  
www.ucp.edu.pe

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

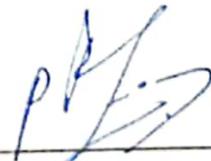
La Tesis titulada:

**"EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS  
EN SUSPENSIÓN EN LA CIUDAD DE IQUITOS, LORETO, 2021"**

De los alumnos: **NOLLIE GONZALES ROJAS**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **15% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 19 de Octubre del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética – UCP

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	UCP_ecologia_2022_Tesis_Nollie_Gonzales_V1.pdf (D146147792)
<b>Submitted</b>	10/11/2022 6:43:00 PM
<b>Submitted by</b>	Comisión Antiplagio
<b>Submitter email</b>	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
<b>Similarity</b>	15%
<b>Analysis address</b>	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2757/AMBIENTAL%20-%20Francie%20Stefanny%20Flores%20Rojas.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2757/AMBIENTAL%20-%20Francie%20Stefanny%20Flores%20Rojas.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 10/11/2022 6:44:00 PM		<b>6</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/437/TESIS_11_04_18.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/437/TESIS_11_04_18.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 10/11/2022 6:44:00 PM		<b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3931_Martin.pdf">https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3931_Martin.pdf</a> Fetched: 10/11/2022 6:44:00 PM		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/354/Miranda-Jeissy-Merma-Lizbeth.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/354/Miranda-Jeissy-Merma-Lizbeth.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 10/11/2022 6:46:00 PM		<b>1</b>

## Entire Document

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA PROGRAMA ACADÉMICO DE ECOLOGIA PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN LA CIUDAD DE IQUITOS, LORETO, 2021" PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: LICENCIADO EN ECOLOGIA AUTORA : Bach. Nollie Gonzales Rojas  
ASESOR: Ing. Marco Antonio Paredes Riveros MsC. Región Loreto, Perú 2022

DEDICATORIA A Dios: por iluminarme y guiarme siempre al estar conmigo en todo momento en el camino durante toda la vida y permitirme seguir adelante dándome las fuerzas necesarias para culminar mis estudios y lograr mis metas. A mis padres: por haberme dado una buena educación, comprensión, paciencia, apoyo en todo momento y sobre todo darme ánimos para seguir adelante.

Agradecimiento. Mi agradecimiento ante todo es para Dios por ser mi guía y acompañante en mi vida, y por siempre llenarme de fortaleza y energía para seguir adelante cada día.

ACTA DE APROBACIÓN \_\_\_\_\_ Ing. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL AGUILA, Dra.  
PRESIDENTE \_\_\_\_\_ Ing. GUSTAVO FERNANDO GAMARRA RAMIREZ, Mgr. MIEMBRO  
\_\_\_\_\_ Lic. Ecol. JOSE LISBINIO CRUZ GUIMARAES, M.Sc MIEMBRO  
\_\_\_\_\_ Ing. MARCO ANTONIO PAREDES RIVEROS, Mgr. ASESOR

## Índice de Contenido

Contenido

ACTA DE APROBACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo I: Marco teórico.....</b>	<b>9</b>
1.1 Antecedentes del estudio.....	9
1.2 Bases teóricas .....	18
<b>Capítulo II Planteamiento del problema.....</b>	<b>20</b>
2.1 Descripción del problema. ....	23
2.2 Formulación del problema .....	24
2.3 Objetivos .....	24
2.4 Hipótesis .....	25
2.5 Variables.....	25
<b>Capítulo III: Metodología .....</b>	<b>26</b>
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	26
3.2 Población y muestra .....	26
3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	26
<b>Capítulo IV. Resultados.....</b>	<b>30</b>
<b>Capítulo V. Discusión, conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>50</b>
5.1 Discusión de los Resultados .....	50
5.2 Conclusiones .....	65
5.3 Recomendaciones .....	66
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>67</b>

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1.- Estaciones de control de Partículas en Suspensión - Iquitos .....	30
Gráfico 2.- Variación Temporal de la estación IIAP .....	31
Gráfico 3.- Variación Temporal de la estación Participación.....	33
Gráfico 4.- Variación Temporal de la estación Serenazgo.....	33
Gráfico 5.- Variación Temporal de la estación SENAMHI.....	33
Gráfico 6.- Variación Temporal de la estación BOMBEROS .....	33
Gráfico 7.- Variación Temporal de la estación HUALLAGA.....	34
Gráfico 8.- Variación Temporal de la estación TAVARA.....	35
Gráfico 9.- Variación Temporal de la estación PARQUE ZONAL .....	36
Gráfico 10.- Variación Temporal de la estación SEHINAV .....	36
Gráfico 11.- Variación Temporal de la estación Huascar.....	37
Gráfico 12.- Esquema del proceso de Brisa Diurna (a) y brisa Nocturna (b) ...	56

## **RELACION DE TABLAS**

Tabla 1.- Valores de Concentración de Partículas en Suspensión 2021. ....	32
---	----

## RESUMEN

La presente investigación realizada en la ciudad de Iquitos durante el 2021, utilizó el método pasivo de obtención de muestras de cantidad de concentración de partículas del aire a nivel mensual en 10 estaciones de control pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, ubicadas en 04 distritos de la ciudad de Iquitos. Los resultados del monitoreo de la concentración de partículas en suspensión en cada estación obtenida mediante el método fueron comparados con el valor referencial dado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 5 Tn/Km<sup>2</sup> /mes.

El análisis comparativo permitió determinar que 08 estaciones sobrepasan los ECAs de la OMS, de las cuales 03 sectores se consideran Muy críticos por sobrepasar hasta en 4 veces el valor OMS: IIAP, Participación y Bomberos, 02 sectores críticos: SENAMHI y SEHINAV (superan en 3 veces) y 03 sectores Ligeramente Críticos: Serenazgo Belén, Parque Zonal y Huallaga (hasta el doble de lo permitido por la OMS), sin embargo, hay 02 sectores con muy buena dispersión de aire presentadas en las estaciones Távora y Huáscar donde muestran valores por debajo del valor referencial de la OMS, siendo 3.6 y 3.4 Tn/Km<sup>2</sup>/mes respectivamente.

En la estación SENAMHI se realizó un comparativo temporal entre 2014 (26.14 Tn/Km<sup>2</sup>/mes) y 2021 (12.6 Tn/Km<sup>2</sup>/mes), encontrando que los valores de concentración disminuyeron en un 50% pero siguen estando por encima del valor referencial de la OMS. La fuente principal de la contaminación es el parque automotor y la falta de áreas verdes en la ciudad.

*Palabras Claves: Partícula en Suspensión, Contaminación, Iquitos, Método Pasivo*

## Abstract

The present investigation carried out in Iquitos City during 2021, used the passive method of obtaining samples of amount of concentration air particles at a monthly level in 10 control stations belonging to the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru, located in 04 districts of Iquitos city. Results of monitoring of concentration suspended particles in each station obtained by means of method were compared with the reference value given by the World Health Organization (WHO), 5 Tn/Km<sup>2</sup>/month.

The comparative analysis allows to determine that in 08 stations they exceed the WHO ECAs, 03 sectors are considered "Very critical" for exceeding the WHO value by up to 4 times: IIAP, Participation and Bomberos, 02 "critical sectors": SENAMHI and SEHINAV (exceed 3 times) and 03 "Slightly Critical" sectors: Serenazgo Belen, Parque Zonal and Huallaga (up to twice what is allowed by the WHO), however, there are 02 sectors with very good air dispersion presented in the Tavera and Huascar stations where show values below the WHO reference value, being 3.6 and 3.4 Tn/Km<sup>2</sup>/month respectively.

At the SENAMHI station, a temporal comparison was made between 2014 (26.14 Tn/Km<sup>2</sup>/month) and 2021 (12.6 Tn/Km<sup>2</sup>/month), finding that the concentration values decreased by 50% but are still above the reference value of The OMS. The main source of pollution is the fleet of vehicles and the lack of green areas in the city.

## Capítulo I: Marco teórico

### 1.1 Antecedentes del estudio.

En el trabajo de investigación realizado por BELLEZABETH VANESSA TORRES MACEDO denominado EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO (PM-2.5 Y PM-10), EN LOS AÑOS 2002 – 2003 CON EL AÑO 2017 EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA DE IQUITOS, cuyo objetivo principal fue evaluar la variación del grado de contaminación por material particulado (PM-2.5 y PM-10), en los años 2002 – 2003 en relación con el año 2017 en la cuenca atmosférica de Iquitos, además de conocer las posibles causas que la originan. Para lograr el objetivo, se desarrolló la investigación no experimental, basada en la temporalización, ya que se recolectó datos en diferentes unidades de tiempo en cuatro (04) estaciones de monitoreo para PM-2.5 y un (01) para PM-10, localizados en los diferentes distritos de Iquitos, con una frecuencia de muestreo de siete días por mes, comprendidos desde agosto hasta octubre del año 2017. Para la medición del material particulado, se utilizó el método de filtración gravimétrica que consiste en la adhesión y/o absorción del PM en una membrana o filtro de cuarzo a través de un equipo automático. De acuerdo a los datos obtenidos en el 2017 y los registrados en el 2002 y 2003, se evidenció que los valores de PM sobrepasan los estándares de calidad del aire, siendo de  $50\text{ug}/\text{m}^3$  para PM-2.5 y de  $100\text{ug}/\text{m}^3$  para PM-10 (valores establecidos mediante D.S. N° 003-2017-MINAM). Los niveles promedio máximos de concentración de PM-2.5 fluctúan entre  $74.12\text{ug}/\text{m}^3$  (Ex Molinera Yulfo) y  $85.90\text{ug}/\text{m}^3$  (Ministerio de Transportes). En cuanto a PM-10, se registraron valores de  $90.10\text{ug}/\text{m}^3$  y  $98.13\text{ug}/\text{m}^3$  (Ex Consulado de Brasil).

“En conclusión, comparando del grado de contaminación por PM-2.5 y PM-10 de los años 2002- 2003 con relación al año 2017, se demostró que sí existe un incremento de material particulado mostrando un comportamiento ascendente, situación que perjudica la salud de la población, por encontrarse valores que sobrepasan el valor tolerable, lo que evidencia que podría existir una alta correlación con el incremento del parque automotor, crecimiento de la población, trabajos de reasfaltado de

las calles sin pavimento haciendo que la contaminación sea mucho mayor”[1].

Castro Utcani en el trabajo de Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del Centro Poblado de Paragsha - Región Pasco, Agosto-Noviembre, 2017 manifestó que “La contaminación del aire por polvo atmosférico sedimentable (PAS) constituye un importante problema ambiental. El trabajo de investigación que realizó en centro poblado de Paragsha distrito de Simón Bolívar departamento de Pasco, tuvo como objetivo evaluar la contaminación del aire ocasionada por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras durante los meses de marzo, abril y mayo, con el propósito de determinar la concentración del polvo atmosférico sedimentable y, se eligió 15 puntos de muestreo donde se aplicó la metodología de muestreo pasivo, que consistió en la colocación de placas petri con un adherente (vaselina) que fueron ubicados en el segundo nivel de las viviendas, por treinta (30) días durante 03 meses. Para la ubicación de las estaciones a monitorear se tuvo en cuenta el tipo de vía, densidad poblacional y tráfico; logrando determinar con ello 03 zonas de muestreo en el centro poblado de Paragsha: Centro, Intermedia y Periferia. Los resultados obtenidos del monitoreo de PAS dieron un valor promedio final de  $0.49 \text{ mg/cm}^2 \times \text{mes}$ , el cual se encuentra dentro del rango de los LMP para PAS establecido por la Organización Mundial de la Salud, que es de  $0.50 \text{ mg/cm}^2 \times \text{mes}$  como valor máximo.” [2]

Torres Castillo manifestó en su trabajo de investigación La presente investigación tuvo como objetivo determinar la reducción del polvo atmosférico sedimentable mediante las especies arbóreas *Ficus Benjamina* y *Salix humboldtiana* en el distrito de San Martín De Porres esto para aumentar el bienestar socio ambiental de la población y fomentar medidas de control del polvo atmosférico sedimentable debido a las condiciones inadecuadas que presenta el distrito así como la inadecuada ejecución de proyectos ambientales que condicionan la alta

presencia de polvo sedimentable en su territorio. Mediante el diagnóstico socio-ambiental del distrito se determinó las principales características que condicionan la alta concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable, posteriormente mediante el uso del método Gravimétrico se cuantificó el polvo atmosférico sedimentable depositado en las especies *Ficus Benjamina* y *Salix humboldtiana*, determinando que especie posee mayor capacidad y aptitud de captura de polvo sedimentable. De esta manera se concluyó que el distrito de San Martín de Porres posee características que favorecen la dispersión de Polvo Atmosférico Sedimentable; entre ellas la falta de áreas verdes, amplias zonas erosionadas y características climáticas. Así mismo se concluyó que la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable en el follaje de las especies *Ficus benjamina* y *Salix humboldtiana* es en promedio de 44,57 Tn/Km<sup>2</sup>/mes y 11,52 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, siendo así la especie *Ficus benjamina* la especie que posee mayor aptitud de captura de Polvo Atmosférico Sedimentable dentro de los alcances del estudio. Finalmente se recomienda el diseño e implementación de planes de arborización en zonas con alto grado de concentración de polvo sedimentable en el distrito de San Martín de Porres con medidas de adecuación y mantenimiento adecuadas para contribuir a la reducción de dicho elemento y por consecuencia contribuyendo a la salud pública y Ambiental del distrito, sobre todo en zonas donde los procesos de urbanización aún son lentos. Palabras claves: polvo atmosférico sedimentable, masa vegetal, especies arbóreas, gravimetría, *Ficus benjamina*, *Salix humboldtiana*. [3]

Mientras en el 2020 Mendez & Moran realizan una Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable en el área de influencia directa de la zona industrial del cercado de Tacna 2020” y manifiestan lo siguiente: El polvo atmosférico sedimentable es uno de los principales problemas que agravan la salud de las personas, calidad del aire y la contaminación atmosférica. En el presente trabajo de investigación se identifican los puntos críticos donde se hallan mayores concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) dentro del área de influencia directa de la Zona Industrial del Cercado de Tacna, considerada a partir

de un kilómetro a la redonda de la zona mencionada. Para este estudio se utilizó el método pasivo de muestreo específicamente el de placas receptoras, el cual ha sido ampliamente utilizado y validado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Para la interpretación de los datos se relaciona los parámetros meteorológicos como temperatura precipitación, velocidad y dirección del viento para obtener el mapa de dispersión del PAS seguido por la rosa de viento con el fin de encontrar e identificar la relación de los datos obtenidos utilizando modelamiento geo estadístico con el método IDW (Interpolación lineal con la ponderación de la distancia inversa) con los parámetros determinados y brindados por SENAMHI. En la fase de campo se colocaron treinta casetas de muestreo en los puntos identificados en el área de influencia directa, el periodo de monitoreo fue de dos meses por lo que al final de cada 30 días, tal como lo indica la metodología, se procedió al pesaje respectivo de las placas obteniéndose como resultado del primer mes el punto de muestreo que presentó mayor concentración de PAS (16.5373 mg/cm<sup>2</sup>/mes) fue el ubicado en las inmediaciones de la planta de Ladrillos Maxx; durante el segundo mes el punto que presentó mayor concentración (15.491 mg/cm<sup>2</sup>/mes) se ubica en la construcción del Centro Comercial de Polvos Rosados. Estos valores sobrepasan el valor guía 0.5 mg/cm<sup>2</sup>/mes establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). De los 30 puntos muestreados 28 presentaron concentraciones de PAS por encima del nivel recomendado, sus valores se proceden a detallar en las tablas y gráficos de la presente investigación [4]

En el 2015 Flores Rojas realizó un estudio de Determinación de la cantidad de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, en la ciudad de Morales, provincia de San Martín, 2015." El cual manifiesta se basa en el análisis comparativo de resultados de las mediciones de los niveles de concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) obtenidas mediante el método pasivo, el cual colecta un contaminante específico, en este caso polvo, por medio de precipitación; para el trabajo experimental se ubican puntos de monitoreo en la ciudad de Morales, la ubicación de estos puntos, han sido

previamente evaluados de acuerdo a los factores que influyen en la medición: velocidad y dirección del viento, densidad poblacional. Los resultados del monitoreo de la concentración de PAS cada punto obtenido mediante el método; son comparados con el nivel de referencia normado por los límites máximos permisibles dado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de  $0.5 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ; de la cual los Estándares de calidad ambiental- aire (ECA), toman como referencia. El análisis comparativo permite determinar la estación que presenta la mayor incidencia de concentración de partículas atmosféricas sedimentables. Los resultados obtenidos de los 5 puntos en estudio se aprecian que, en dos zonas superan los límites máximos planteados por la OMS, que es de  $0.5 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ; los cuales son: punto 01: Sector Terminal Terrestre:  $0.63 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$  y punto 05: Sector I.E. Francisco Izquierdo Ríos:  $0.68 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ . Aumentando con ello a poner en riesgo la salud de la población más vulnerable (niños, madres gestantes y ancianos). De estos resultados se concluye que, las actividades económicas en zonas acondicionadas y mejor dominio 'no superan' los límites, con relación a las actividades que se desarrolla en zonas inadecuadas. Indicando con ello que las calles sin pavimentos son los focos más importantes en contribuir con partículas al ambiente, causados por el transporte y las actividades que ahí se desarrollan. Los resultados obtenidos contribuyen para que las autoridades del distrito tomen en cuenta para mejorar estas zonas, que beneficiaría a la población y su ornato [5]

Martins en el 2005 realizó un estudio de "Contaminación de aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires", en el manifiesta que el proceso de urbanización origina grandes transformaciones en el medio ambiente. El deterioro de la calidad del aire en las grandes ciudades es un problema mundial que se incrementa con el crecimiento de la población. Entre los contaminantes del aire urbano, el material particulado en suspensión es considerado uno de los más importantes, por sus posibles efectos sobre la salud de las personas. La mayor peligrosidad está relacionada con su capacidad de ingresar en los pulmones, alojándose allí y dañando los tejidos involucrados en el intercambio de

gases. Otros efectos del material particulado en suspensión están relacionados con la reducción de la visibilidad, con el aumento de la dispersión y/o de la absorción de la radiación solar afectando la radiación de onda corta y con el aumento del número de núcleos de condensación en la atmósfera. También, existen evidencias de los daños originados por el depósito de material particulado sobre edificios y monumentos. En este trabajo se estudian algunas características de la concentración de fondo de material particulado en suspensión total y PM10 en la atmósfera de la Ciudad de Buenos Aires. Además, se obtuvieron estimaciones del depósito de material particulado en la ciudad y se analizan sus distribuciones espacial y temporal. Fundamentalmente, se desarrolló y utilizó el modelo de dispersión-depósito DAUMOD-D, para estimar la concentración en aire y el depósito de material particulado en áreas urbanas y se lo aplicó a las emisiones de material particulado en la Ciudad de Buenos Aires. Este modelo incluye una parametrización de los procesos de depósito seco y húmedo de material particulado en un área urbana. Se describe la metodología utilizada para evaluar la “velocidad de depósito” en función de la distribución del tamaño de las partículas, de las condiciones atmosféricas y de la rugosidad de la superficie. Asimismo, se presenta la parametrización del “coeficiente de lavado” de partículas por la precipitación, en función de la distribución del tamaño de las partículas, de la eficiencia de colisión de las gotas de lluvia y de la intensidad de la precipitación. Para la aplicación del modelo desarrollado a la Ciudad de Buenos Aires, se presentan los resultados de un inventario de emisiones de material particulado en la ciudad. Los valores de las concentraciones de fondo de material particulado y del flujo de partículas sedimentables estimados por el modelo desarrollado han sido comparados con las observaciones realizadas por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires en diferentes zonas de la ciudad. Los resultados del modelo sobreestimaron levemente el flujo de partículas sedimentables: el error cuadrático medio normalizado fue 37%, el error fraccional  $-9.1\%$  y la varianza fraccional 1.8%. El 72% de las estimaciones resultó dentro de un factor 2 de las observaciones. Por otra parte, los valores estimados de la concentración de fondo de material particulado en suspensión

resultaron algo inferiores a los observados: el error cuadrático medio normalizado fue 20.0%, el error fraccional 21.5%, la varianza fraccional 7.7% y el 87% de las estimaciones resultaron dentro de un factor 2 de las observaciones. De esta forma, los resultados obtenidos por el modelo DAUMOD-D para la ciudad de Buenos Aires pueden considerarse satisfactorios. Se estudió la variación mensual de la distribución espacial del depósito de material particulado en la ciudad, encontrándose que pueden existir zonas donde el depósito mensual de material particulado supere  $1 \text{ mg}/(\text{cm}^2 \cdot 30\text{d})$  (límite establecido por la Ley 1356, de la Ciudad de Buenos Aires). Se presentan distribuciones horizontales de la concentración de fondo de material particulado en suspensión total en la ciudad para diferentes tiempos de promedio. Las zonas de la ciudad con los mayores valores de concentraciones horarias varían con las condiciones atmosféricas y la hora del día. Por otra parte, las máximas concentraciones mensuales de material particulado en suspensión pueden superar los  $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ , principalmente en los meses invernales. Las zonas de la ciudad que presentan los mayores valores de concentración de material particulado en suspensión incluyen los barrios de Constitución-Retiro, Palermo, y alrededor de la Autopista 25 de Mayo y la Avenida Rivadavia. Asimismo, se estimaron las concentraciones de fondo, diaria y anual, de material particulado PM10 en la Ciudad de Buenos Aires. La concentración media anual de PM10 presentó valores superiores a  $0.05 \text{ mg}/\text{m}^3$  (límite establecido por la Ley 1356, Ciudad de Buenos Aires) en el microcentro y en los barrios de Constitución y Retiro. Las concentraciones medias diarias de PM10 superaron los  $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$  (límite establecido por la Ley 1356, Ciudad de Buenos Aires) en Constitución, Retiro y en los alrededores del Aeroparque y la Autopista 25 de Mayo. Estas situaciones pondrían en riesgo al 51.6 % de la población total de la ciudad al menos 1 vez/año. Además, se estudió la ocurrencia consecutiva de concentraciones diarias altas, obteniéndose 3 rachas de 3 días de duración, que pondrían en riesgo al 0.6 % de la población menor que 14 años y al 0.7 % de la población mayor que 65 años. Se evaluó el aporte relativo de las diferentes fuentes de emisión a la contaminación por material particulado en diferentes zonas de la ciudad. Los automotores

contribuyen con más del 60% de la concentración estimada y en segundo lugar se encuentra el aporte del transporte automotor de pasajeros (con alrededor del 20%) a la concentración estimada. [6]

En el 2013 Alvarez y Salazar publicaron en la revista Esp. Salud Publica titulado: "Síntomas respiratorios y función pulmonar en niños de 6 a 14 años de edad y su relación con la contaminación por material particulado pm10 en santa marta- Colombia los resultados fueron los siguientes: Se definieron como zonas no expuestas Don Jaca-Cristo Rey (DJCR) y Mamatoco y como zonas expuestas Gaira y Pescaíto, las cuales presentaron más de 70µg/m<sup>3</sup> de PM10 (tabla 2). La prevalencia total de síntomas respiratorios en la población estudiada fue de 39,3%. La prevalencia en las zonas expuestas (45,4%) fue mayor que la de las zonas no expuestas (34,1%). Se observó una relación estadísticamente significativa ( $\chi^2 = 4$  y  $p = 0,04$ ) entre vivir en zona expuesta y la presencia de síntomas respiratorios (tabla 3). Según el modelo de asociación estadística entre la presencia de síntomas respiratorios totales con la exposición a PM10, se encontró que los niños que habitaban en zonas expuestas tuvieron mayor probabilidad de presentar síntomas respiratorios con un OR=1,6 (IC95% 1,009-2,614). Además, se observó asociación estadísticamente significativa entre tener síntomas del TRS con vivir en zonas expuestas OR=2,3 (IC95%, 1,4-3,7) y con la tenencia de gatos OR=1,9 (IC95%, 1,1-3,2). Se encontró una prevalencia de síntomas del TRS del 34,8% en los niños de zonas expuestas (tabla 4). La prevalencia de síntomas del TRI fue de 11,4% y no se encontró asociación estadísticamente significativa entre vivir en zona expuesta y presentar síntomas en TRI. El segundo modelo de análisis, que consistió en la realización de pruebas de OR para identificar asociación entre la alteración en la función pulmonar con la exposición a PM10 y covariables, permitió hallar asociación estadísticamente significativa entre la disminución de los parámetros espirométricos y vivir en zona expuesta a PM10 (tabla 5). Además, se observó asociación epidemiológica entre presentar alteración de la función pulmonar y vivir en una zona expuesta con un OR=2,97 (IC 95% 1,84- 4,79) (tabla 6). Con relación a las

covariables no se encontró asociación estadísticamente significativa con la alteración de la función pulmonar. Por regresión logística se confirmó que vivir en zona expuesta [OR ajustado=2,19 (IC 95% 1,34-3,55)] y tener gatos en la casa, [OR ajustado=1,79 (IC 95% 1,039- 3,11)] fueron factores de riesgo asociados a la presencia de síntomas del TRS. [7]

En el 2016 la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo publicó el estudio: Dispersión de material particulado (pm10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos en el cual se manifiesta: Los procesos minero-industriales llevados a cabo por acción antrópica, traen consigo la generación de impactos al medio ambiente; entre los asociados a la minería está la afectación de la calidad del aire producida por la liberación de contaminantes atmosféricos, siendo objeto de estudio el comportamiento de la fracción respirable de material particulado menor a 10 micras (PM10) con respecto a los factores meteorológicos y topográficos. Los escenarios analizados en el estudio involucraron tiempos de exposición diario y anual de PM10, para los cuales se hizo la modelación con el Software AERMOD View. El modelo se corrió para dos zonas topográficas, una zona compleja ubicada en el Municipio de Socha y una zona simple ubicada en el Municipio de Sogamoso. Se empleó información meteorológica horaria de tipo satelital, en formato SAM para las zonas modeladas. Se identificaron tres tipos de fuentes de emisión en las zonas; teniendo que, predominan las fijas dispersas, seguido de las móviles y en baja proporción las puntuales. Los modelos de dispersión de PM10 realizados para las zonas de topografía simple y compleja, dieron como resultado que la dirección y velocidad del viento está condicionada por la misma. Ésta permitió un flujo libre en la dirección predominante en la rosa de vientos para la zona de topografía simple y un flujo turbulento en la zona compleja. Se determinó que los focos de emisión de PM10 en ambos casos son de escala local; estos presentaron un radio crítico de arrastre y deposición de partículas de 200 m aproximadamente.[8]

## **1.2 Bases teóricas.**

### **1.2.1 GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**CONCENTRACIÓN.** Corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora.

**CONTAMINANTE PRIMARIO.** Contaminante producido directamente por la actividad humana o la naturaleza.

**CONTAMINANTE SECUNDARIO.** Contaminante producido a partir de algún(os) contaminante(s) primario(s) y otras sustancias.

**EMISIÓN.** Lanzamiento de materiales al aire, ya sea por un foco localizado (emisión primaria) o como resultado de reacciones fotoquímicas o cadena de reacciones iniciadas por un proceso fotoquímico (emisión secundaria).

**ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE.** Aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana.

**GRAVIMETRÍA.** La gravimetría se refiere a la medición del peso. El peso del filtro con el contaminante recolectado menos el peso de un filtro limpio da la cantidad de material particulado en un determinado volumen de aire.

**IMPACTO AMBIENTAL.** La alteración positiva o negativa de la calidad ambiental, provocada o inducida por cualquier acción del hombre. Es un juicio de valor sobre un efecto ambiental, es un cambio neto (bueno o malo) en la salud del hombre o en su bienestar.

**INMISIÓN.** Concentración de contaminantes una vez emitidos, transportados y dispersados en la atmósfera de modo temporal o permanente.

**INVERSION TÉRMICA.** Se habla de inversión térmica cada vez que la temperatura aumenta con la altura. En este caso la estabilidad atmosférica es intensa y la inversión térmica inhibe los movimientos verticales. El comportamiento normal de la temperatura a medida que aumentamos en altura es disminuir, luego el proceso en que la temperatura aumente con la altura se le denomina inversión térmica.

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE.** Nivel de concentración o cantidades de uno o más contaminantes, por debajo del cual no se prevé riesgo para la salud, el bienestar humano y los ecosistemas, que es fijado por la Autoridad Ambiental Competente y es legalmente exigible. Los LMP, son revisados por la autoridad ambiental competente cada 5 años. MATERIAL

**MATERIAL PARTICULADO (MP).** Es una mezcla de partículas líquidas, sólidas o líquidas y sólidas suspendidas en el aire que difieren en tamaño, composición y origen. El tamaño de las partículas suspendidas en la atmósfera varía en más de cuatro órdenes de magnitud, desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros.

**MICROGRAMO ( $\mu\text{g}$ ).** Unidad de masa que corresponde a la millonésima parte de un gramo. **MICROGRAMOS POR METRO CÚBICO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).** Es la unidad que con mayor frecuencia se utiliza. Relaciona la masa de contaminante con el volumen de aire que lo contiene.

**MONITOREO.** Acciones de observación, muestreo, medición y análisis de datos técnicos y ambientales para definir las características del medio o entorno, identificar los impactos ambientales de las actividades del sector y su variación o cambio durante el tiempo.

**PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN.** Son partículas presentes en el aire de diversa índole puede ser producido por acción natural, por actividades humanas o una combinación de ambos.

**EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONTAMINACIÓN ATMÓSFERICAS:** La evolución de los contaminantes conlleva la aparición de otros nuevos no emitidos por la fuente directamente.

Aunque la determinación de la exposición individual depende de múltiples factores (ritmos de actividad, relación entre exposición en ambientes exteriores y ambientes interiores, laborales y no laborales), se puede afirmar que el conocimiento de los valores de inmisión en el aire ambiente nos acerca al de la dosis a la que está expuesta la población posibilitando el estudio de sus efectos en salud. Este hecho ha justificado históricamente el control y la vigilancia de los niveles de inmisión de contaminación atmosférica.

### **1.2.2 Contaminación atmosférica.**

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas.[9]

### **1.2.3 Partículas atmosférico sedimentable (PAS) o partículas sedimentables (PS) o partículas en suspensión.**

Las partículas en suspensión (total de partículas suspendidas: TPS) (o material particulado) consisten en acumulación de diminutas piezas de sólidos o de gotitas de líquidos en la atmósfera ambiental, generada a partir de alguna actividad antropogénica (causada por «el hombre») o natural.[10]

Los contaminantes en partículas no son idénticos física y químicamente, sino más bien están constituidos por una amplia variedad de tamaños, formas y composiciones químicas. Algunos son mucho más nocivos para la salud humana. El interés por las partículas atmosféricas se debe a dos causas importantes:

1. Afectación del balance de la radiación terrestre
2. Efectos nocivos sobre la salud. Las partículas penetran en los pulmones, los bloquean y evitan el paso del aire, lo cual provoca efectos dañinos. [11]

### **1.2.3 Balance de la radiación terrestre**

El balance de la radiación del sistema Tierra- atmósfera, se obtiene de la diferencia entre la radiación solar recibida y la emitida por el sistema, de hecho, este balance es nulo, es decir la fracción de energía solar recibida y la emitida por el sistema y el sistema no se calienta ni enfría. [21]

La modificación de la composición de la atmósfera por causas antropogénicas o naturales altera la calidad del aire, a la vez que puede causar cambios en el clima por su influencia en el balance radiactivo terrestre. Por tanto, en lo referente a la perturbación de la composición de la atmósfera se distinguen dos escalas:

- a) Las escalas locales, regional y de larga distancia, en las que el deterioro de la calidad del aire o el aporte de determinados contaminantes puede tener repercusiones negativas sobre los ecosistemas. [22]

En situación normal, en la zona baja de la tropósfera, la temperatura disminuye al aumentar la altitud. El aire más próximo a la superficie terrestre es calentado por ésta, se hace menos denso que el aire más frío que hay sobre él, produciendo con ello una circulación vertical del aire que ayuda a la dispersión de contaminantes Sin embargo, las condiciones meteorológicas (presión atmosférica, temperatura y humedad), son las que componen el estado del tiempo el cual varía de acuerdo a la ubicación geográfica de determinado lugar y por ende depende de su clima y de la latitud y altitud de un lugar. La misma que puede causar una inversión en el esquema normal de temperatura. El resultado es la formación de una capa de inversión térmica que consiste en la ubicación de una masa de aire más frío por debajo de otra de aire más cálido, impidiendo la

circulación vertical del aire. En estas condiciones los contaminantes vertidos al aire no pueden dispersarse por quedar atrapados en la capa inferior en la que no circula verticalmente el aire y se van acumulando [24]

#### **1.2.4. El impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud:**

Es conocido desde antiguo. La momia encontrada en el desierto del Gobi (1800 años antes de nuestra era) se reconoce como la primera evidencia de ello, debido a que los arqueólogos atribuyen su muerte a enfermedades respiratorias causadas por las emisiones de combustión de madera y de polvo mineral. Lao-Tze (año 500 a.C.) reconocía ya el impacto en la calidad del aire de las actividades humanas. Alrededor del año 300 de nuestra era, leyes romanas ya regulaban en York algunas fuentes de contaminación atmosférica, como la producción de cerveza. Alrededor de 1180 Maimónides (Rabi Mose Ben MAIMON, médico sefardí cordobés, 1135-1204) escribía: *Comparar aire de ciudades con el aire de los desiertos y las tierras áridas es como comparar las aguas que son podridas y turbias con las limpias y puras. En la ciudad, a causa de la altura de sus edificios, lo angosto de sus calles y de todo lo que se vierte desde sus habitantes y sus líquidos, el aire se torna estancado, espeso, brumoso y neblinoso. Si el aire se altera alguna vez ligeramente, el estado del Espíritu Psíquico será alterado perceptiblemente.*[22]

Las partículas tanto solas como en combinación con otros contaminantes atmosféricos son consideradas un importante riesgo para la salud. Su introducción al cuerpo humano se realiza principalmente a través del sistema respiratorio y sus efectos inmediatos más importantes afectan al mismo. Esto debido a las propias características anatómicas del sistema respiratorio humano el cual se puede clasificar en superior (cavidad nasal, faringe y tráquea) e inferior (bronquios y pulmones). Las unidades menores, los bronquiolos, se encuentran en la profundidad de los pulmones y terminan en aproximadamente tres millones de unidades pulmonares funcionales llamados alvéolos, a través de cuyas membranas se produce el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono con la corriente sanguínea. [23]

## Capítulo II: Planteamiento del problema.

### 2.1 Descripción del problema.

La calidad del aire es importante para todo ser vivo aeróbico. Es un bien común indispensable al cual todas las personas tienen el derecho a su uso y por ende la obligación de su conservación en los límites permisibles, es por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo considera como una de las prioridades mundiales más importantes en salud,[12] sin embargo, desde hace décadas atrás se ha evidenciado deterioro en la calidad del aire a nivel mundial. Este hecho se debe a que, en el aire, se encuentran emisiones de partículas naturales que incluyen polvos, quema de combustibles, emisiones volcánicas, emanaciones de la flora, e incendios de bosques; a su vez, también están las emisiones antropogénicas que provienen de fuentes estacionarias, fuentes fugitivas (polvos de las carreteras e industrias). Los seres vivos expuestos a estas partículas suponen graves riesgos para la salud. [13]

El material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire los más comunes son el MP<sub>10</sub> Y EL MP<sub>2.5</sub>, Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos [14].

La ciudad de Iquitos contaba con 48,000 unidades vehiculares oficialmente [12] actualmente, se estima que sobrepasan los 100,000 unidades (oficiales y extraoficiales) que emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases nocivos para la población, restos de hidrocarburos, polvo, etc, a esto se suma los días con altas temperaturas que se están volviendo fenómenos recurrentes [15] ocasionando que el material fino se disperse y se encuentre suspendido en mayor área y proporción en el aire.

En este sentido, es de gran importancia determinar la evolución de la cantidad de partículas en suspensión de la ciudad de Iquitos y evaluar si superan el ECA vigente.

## **2.2 Formulación del problema.**

### **2.2.1 Problema General.**

¿Cuál es el grado de contaminación del aire por Partículas en Suspensión en la ciudad de Iquitos, Loreto, 2021?

### **2.2.2 Problemas Específicos.**

¿Cuál es el grado de contaminación por Partículas en Suspensión en la ciudad de Iquitos en los últimos años?

¿Cómo es la distribución espacial de la contaminación por Partículas en Suspensión en la ciudad de Iquitos en los últimos 5 años?

¿Las partículas en suspensión del aire en la ciudad de Iquitos superan los ECA de la legislación peruana?

## **2.3 Objetivos.**

### **2.3.1 Objetivo general.**

Evaluar el grado de contaminación atmosférica por partículas en suspensión en la ciudad de Iquitos, departamento de Loreto en el 2021.

### **2.3.2 Objetivos específicos.**

Determinar la evolución temporal de contaminación atmosférica por partículas en suspensión en la ciudad de Iquitos en el departamento de Loreto.

Determinar la evolución espacial de contaminación atmosférica por partículas en suspensión en la ciudad de Iquitos, región Loreto, 2021.

Determinar el grado de contaminación atmosférica de las partículas en suspensión en la ciudad de Iquitos, comparándolos con los ECA's vigentes.

## **2.4 Hipótesis.**

En los últimos años se viene incrementando la contaminación atmosférica por partículas en suspensión en la ciudad de Iquitos, departamento de Loreto

## **2.5 Variables:**

### **2.5.1 Identificación de las variables.**

#### **Independiente**

Cantidad de partículas en suspensión del aire en las estaciones de control.

#### **Dependiente**

Grado de exposición y distribución de partículas en suspensión del aire de la ciudad de Iquitos.

## **Capítulo III: Metodología**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación.**

El presente trabajo de investigación se cataloga de tipo descriptivo no experimental. Descriptivo por que permitió evaluar la contaminación atmosférica por partículas en suspensión de la ciudad de Iquitos.

No experimental porque no permitió manipular las variables ya que se observan situaciones existentes, tal como se dan en el contexto natural, para posteriormente analizar los datos obtenidos.

### **3.2 Población y muestra**

#### **3.2.1 Población**

Para la presente investigación la población estará constituida por la ciudad de Iquitos.

#### **3.2.2 Muestra**

Las estaciones de control de partículas en suspensión del aire ubicadas en las vías urbanas más transitadas de la ciudad de Iquitos.

### **3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos**

Como técnica se aplicará el Muestreo Pasivo, consiste en la colecta PAS por precipitación, que se recoge en placas Petri. Después de su exposición por un periodo adecuado de muestreo, que puede variar desde una hora hasta meses o inclusive un año, la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción o pesado del sustrato para ser analizado cuantitativamente. Los equipos utilizados se conocen como muestreadores pasivos que se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos, baldes, recipientes rectangulares o discos.[16]

## Parámetro a evaluar:

El parámetro considerado para la evaluación de la calidad del aire en la Ciudad de Iquitos es el siguiente: Partículas atmosféricas sedimentables (PAS)

## Normativa:

### Normas nacionales

En el Perú no se presenta ninguna norma o ley con respecto a los límites máximos permisibles para partículas sedimentables, sin embargo, instituciones como DIGESA Y SENAMHI cogen normas de OMS para establecer estudios de monitoreo, que en el Perú se le conoce como ECA's

**Tabla 2**  
*Comparación de metodologías según sus normas.*

INSTITUCION	TIEMPO PROMEDIO	LIMITE MAXIMO mg/cm <sup>2</sup> /30 días	TECNICA METODO
DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental)	30 DIAS	0.5	Gravimétrico estudio de partículas sedimentable.
SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología es Hidrografía)			Gravimétrico estudio de partículas sedimentables (jarras), partículas atmosféricas sedimentables (placa Petri).

**Nota:** Recuperado de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, 2008.

## Determinación y ubicación de puntos de monitoreo – muestreos:

Para la ubicación de las placas se realizó una descripción de las características del entorno donde se ubica cada punto de control, siendo los siguientes puntos:

1. Sector Av. Abelardo Quiñonez Km 1.5, en la parte frontal del Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP)

2. Sector Av. Participación cuadra 4.
3. Sector Calle 4 de la Urbanización Río Mar, distrito de Belén, ubicado en las instalaciones de la Base de Serenazgo del distrito de Belén.
4. Sector Calle Cornejo Portugal cuadra 18, ubicada en el distrito de Belén, cercano al Hospital de Iquitos y el Fuerte Militar Fernando Lores Tenazoa.
5. Sector Calle Prospero cuadra 10, en la estación de Bomberos del distrito de Belén.
6. Sector Calle Huallaga cuadra 4, cercano a la plaza 28 de Julio.
7. Sector Calle Távara West cuadra 3,
8. Sector Parque Zonal de Iquitos.
9. Sector Av. La Marina, en el local del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía – SEHINAV. Distrito de Punchana
10. Sector Calle Huáscar, en el distrito de Punchana

#### **Procedimiento para su ubicación:**

Las placas Petri han sido codificado de acuerdo al lugar que se toma la muestra. Luego, cada placa ha sido ubicado en los puntos que le corresponde de acuerdo con el código; los cuales fueron viviendas que se coordinaron previamente, que presentan condiciones de seguridad y estabilidad la cual fue retirado cada 30 días hasta completar las 12 repeticiones en el año.

Las placas fueron protegidos de animales, vientos, lluvias, etc. que garantizo la rigidez de la toma de muestra

Cumplido el mes se pesaron el contenido de los sedimentos se registró como primer dato y así sucesivamente hasta completar las repeticiones respectivas.

#### **3.3.1 Instrumentos de Recolección de Datos**

Los equipos e instrumentos que se utilizó son:

Equipo de posicionamiento GPS Garmin.

Balanza analítica de precisión de 0.01 g

Cámara fotográfica digital.

Placa de vidrio de 10 cm x 10 cm

### **3.3.2 Procesamiento y análisis de datos.**

El procesamiento de los datos se realizó en forma manual y computarizada utilizando el software Excel y plantillas de campo. La fórmula empleada será la siguiente:

$$\text{Partículas en suspensión} = (P_f - P_i)/(A \times T)$$

Donde:

$P_f$  = Peso final de la placa luego de un periodo de tiempo (Toneladas)

$P_i$  = Peso Inicial de la placa al inicio del periodo de muestreo (Toneladas Métricas)

$A$  = Área de la placa colectora ( $\text{Km}^2$ )

$T$  = Tiempo transcurrido desde el inicio hasta el final del muestreo, generalmente es mensual.

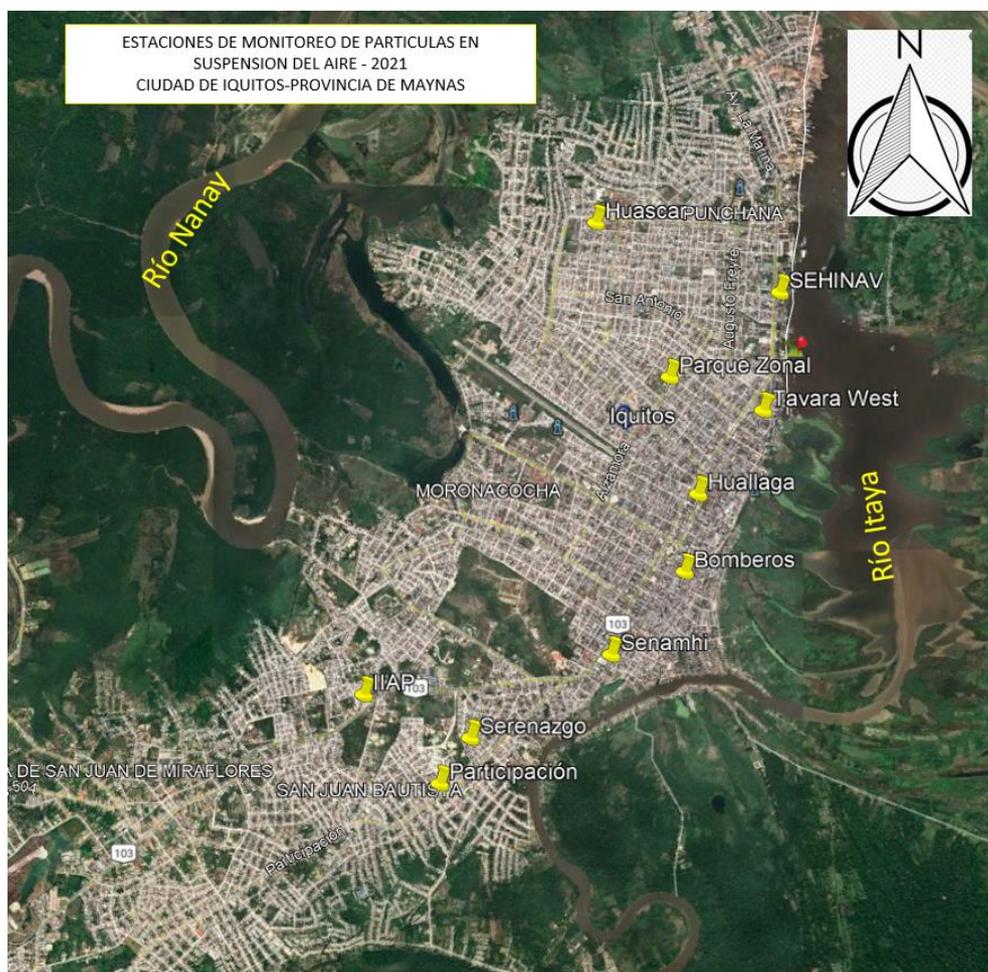
## Capítulo IV. Resultados

### 4.1 Ubicación

Cuadro 1.- Ubicación de estaciones de monitoreo

Est.	Medición de Polvo	Ubicación	Coordenadas UTM Zona 18 (WGS 84)	
			Este (X)	Norte (Y)
PM1	Estación IIAP	San Juan Bautista	691640	9583379
PM2	Estación Participación	Belén	692322	9582589
PM3	Estación Serenazgo Belén		692593	9582993
PM4	Estación Senamhi	Iquitos	693847	9583731
PM5	Estación CIA Bomberos		694506	9584470
PM6	Estación Huallaga		694630	9585169
PM7	Estación Távara		695216	9585924
PM8	Estación Parque Zonal		694375	9586227
PM9	Estación Sehinav	Punchana	695373	9586997
PM10	Estación Huascar		693709	9587639

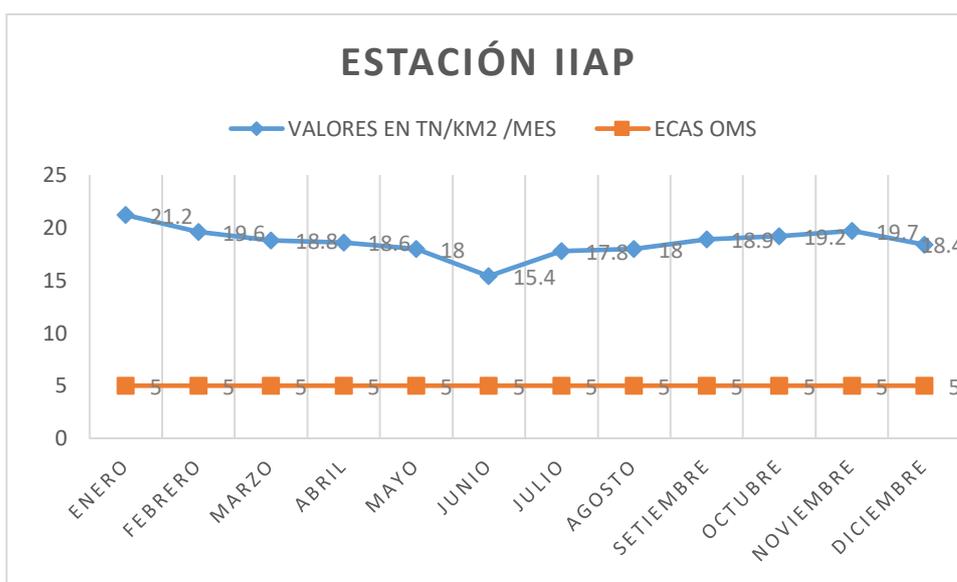
Gráfico 1.- Estaciones de control de Partículas en Suspensión - Iquitos



## 4.2 Monitoreo temporal 2021

Siguiendo la metodología propuesta se obtuvo los valores de concentración de Partículas en suspensión en 10 estaciones de control, todas ellas ubicadas dentro de la zona urbana de la ciudad de Iquitos. El gráfico 2, presenta la variación a lo largo del tiempo de la concentración de particular en suspensión en la estación IIAP durante el año 2021. Asimismo, las barras de color verde indican el ECA recomendado por el CEPIS.

Gráfico 2.- Variación Temporal de la estación IIAP



Otra de las estaciones de interés, se ubica sobre la Av. Participación cuadra 4, ubicado en el distrito de Belén, durante el año 2021, se puede visualizar que los valores se encuentran en promedio en 20 Tn/km<sup>2</sup>/mes, ver gráfico 3.



Gráfico 3.-Variación Temporal de la estación Participación

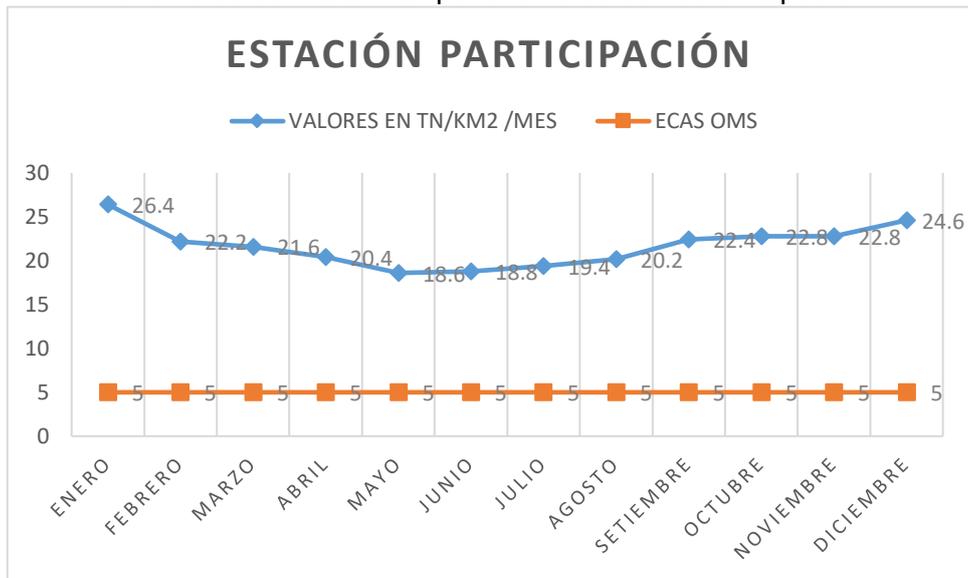


Gráfico 4.- Variación Temporal de la estación Serenazgo

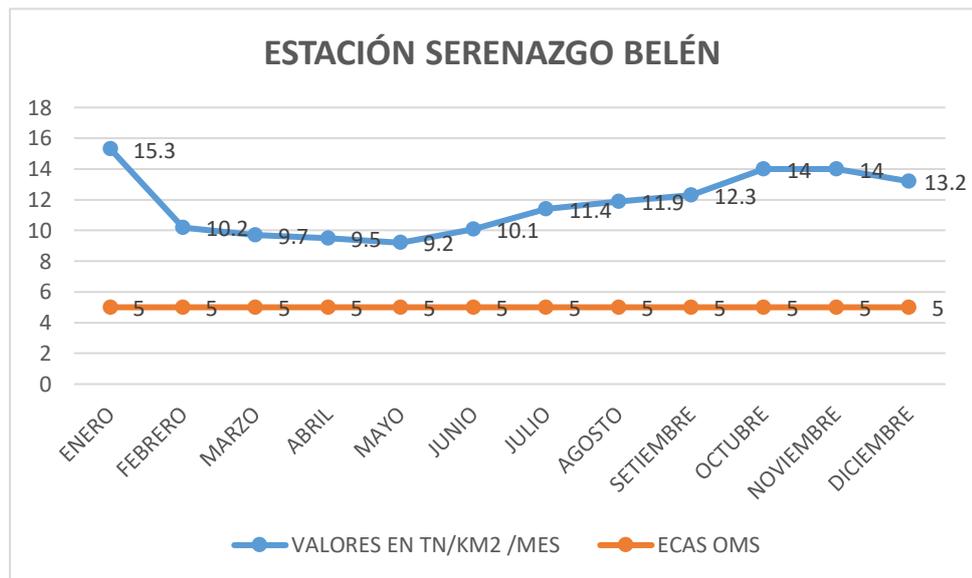


Gráfico5.- Variación Temporal de la estación SENAMHI

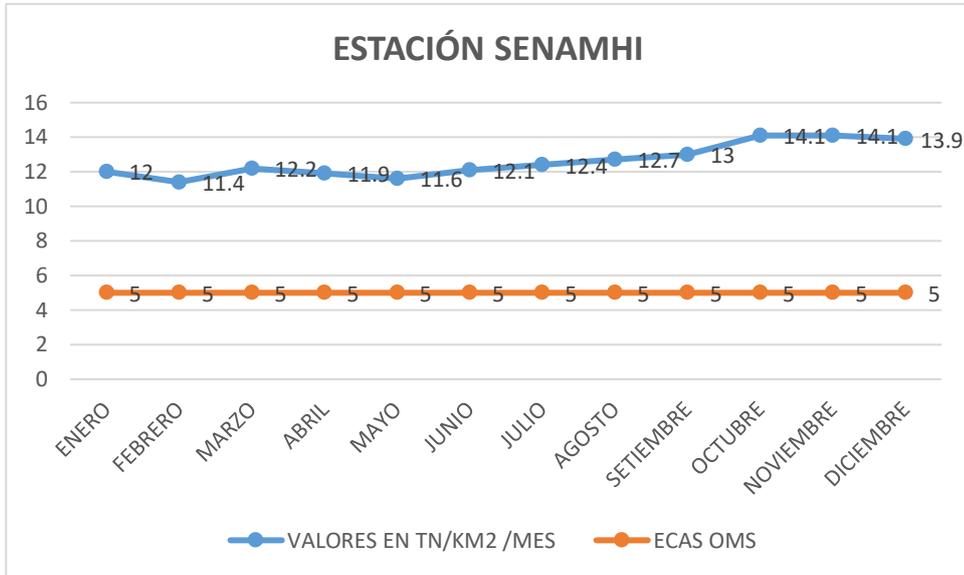


Gráfico 7.- Variación Temporal de la estación BOMBEROS

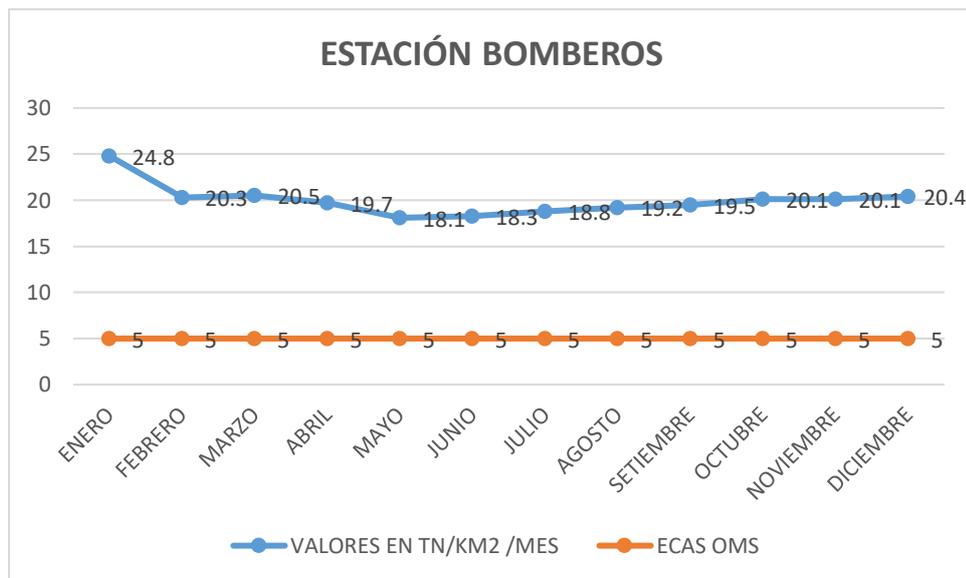


Gráfico 8.- Variación Temporal de la estación HUALLAGA

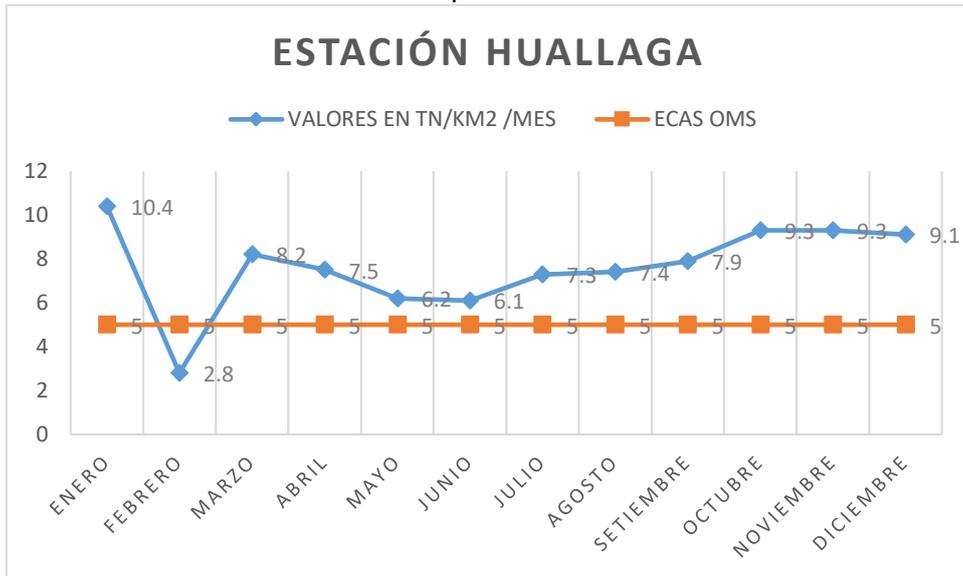


Gráfico 9.- Variación Temporal de la estación TAVARA

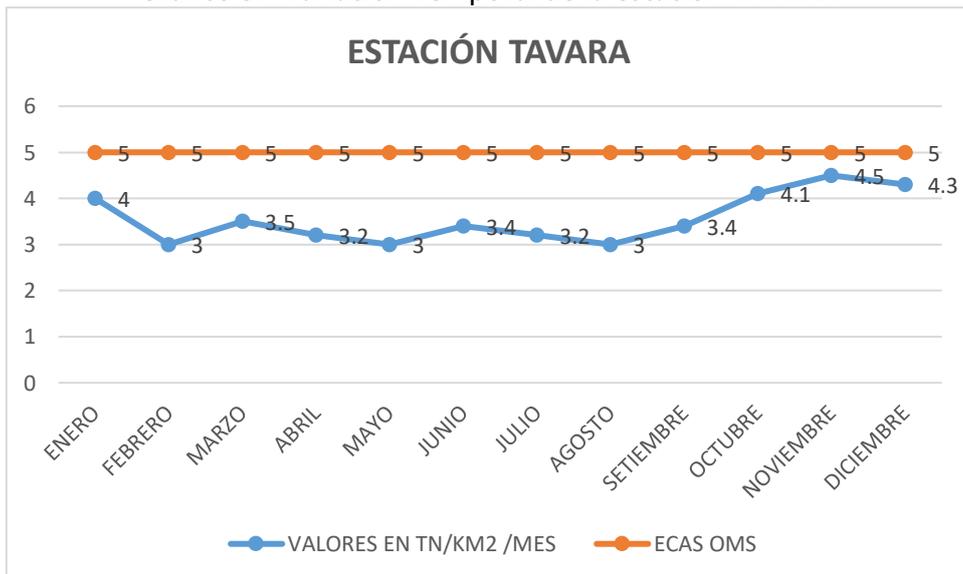


Gráfico 10.- Variación Temporal de la estación PARQUE ZONAL

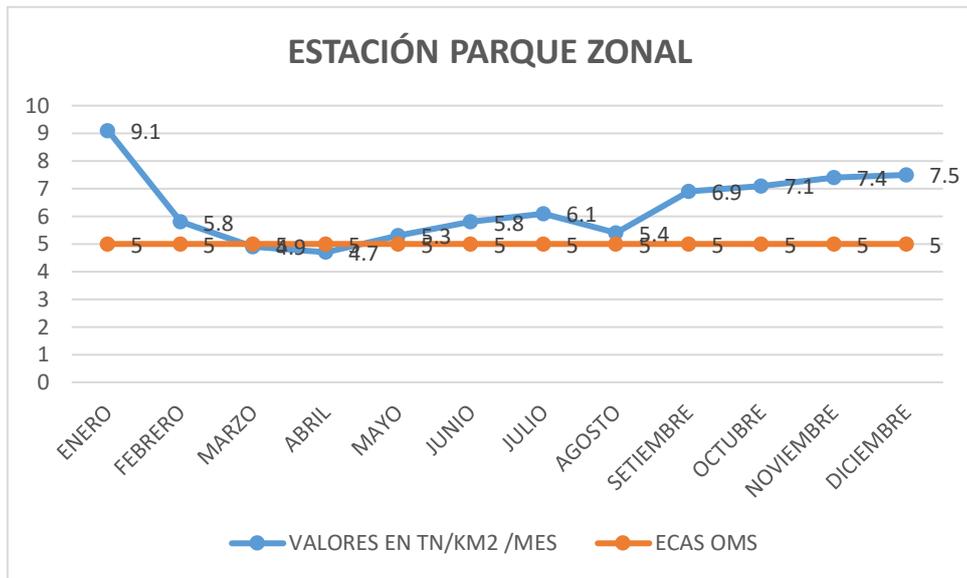


Gráfico 11.- Variación Temporal de la estación SEHINAV

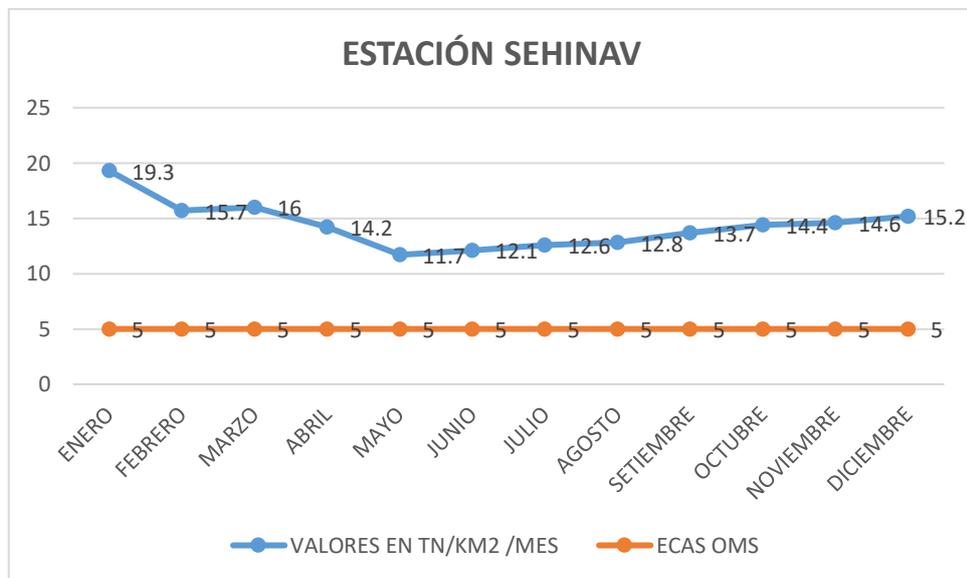
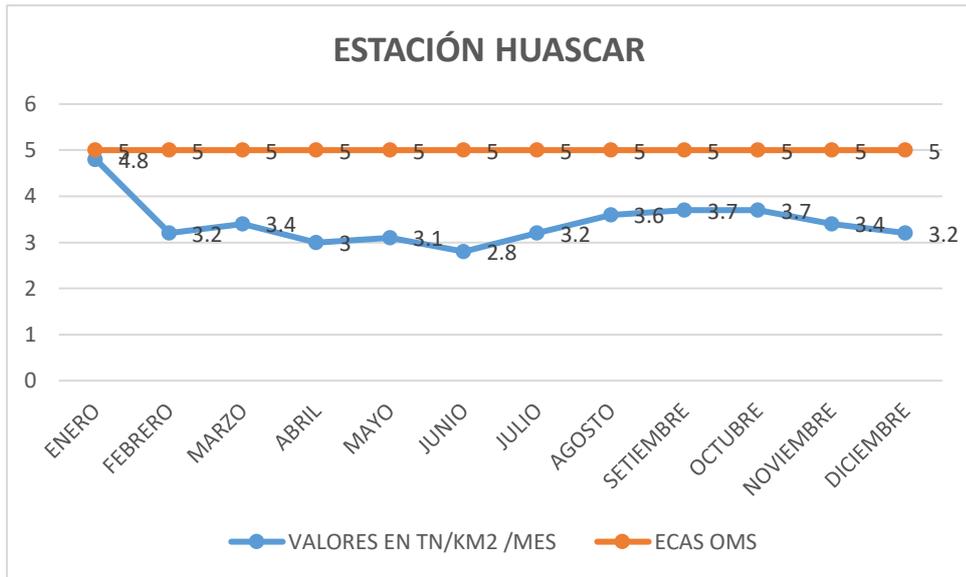
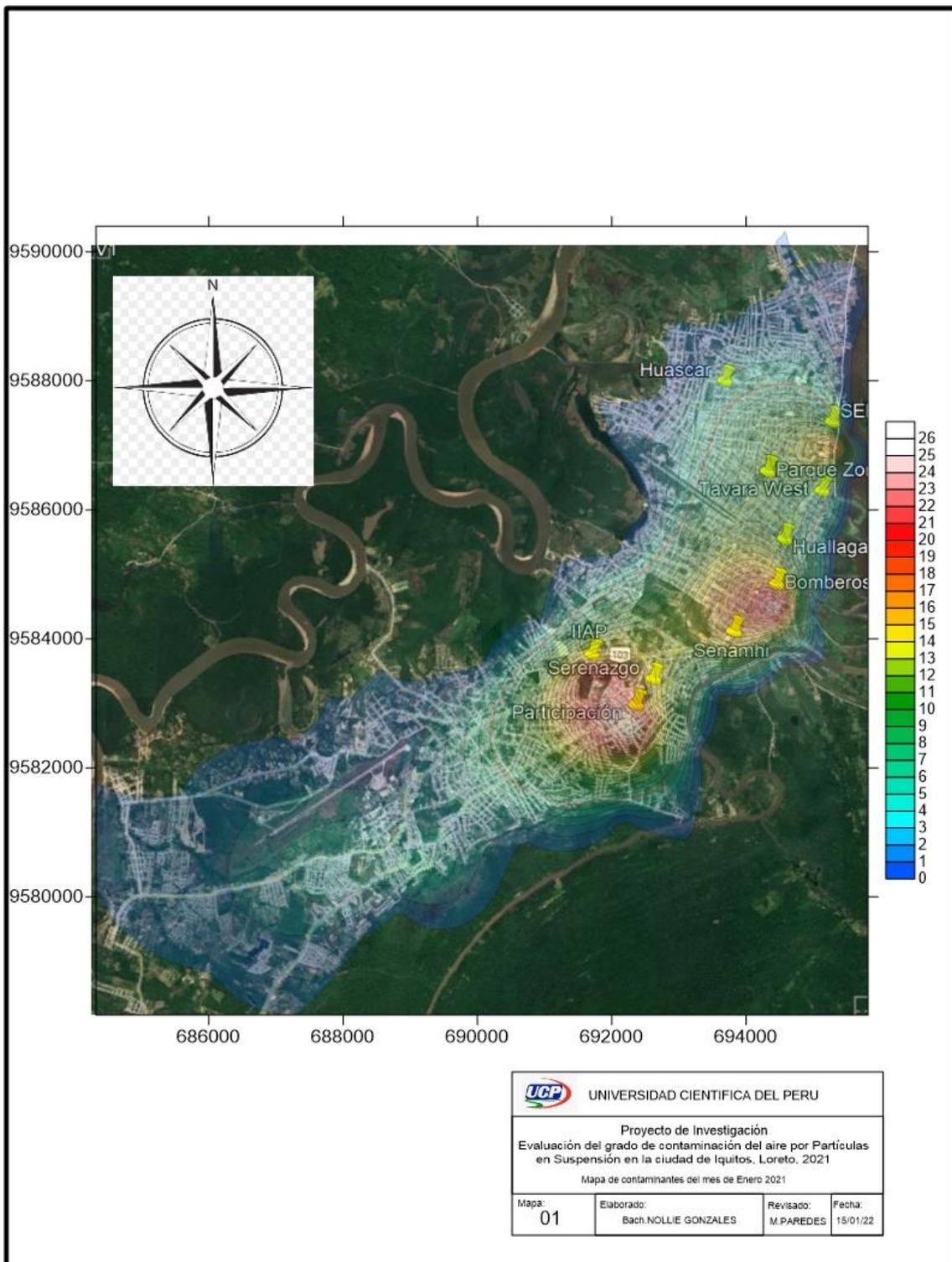


Gráfico 12.- Variación Temporal de la estación Huáscar

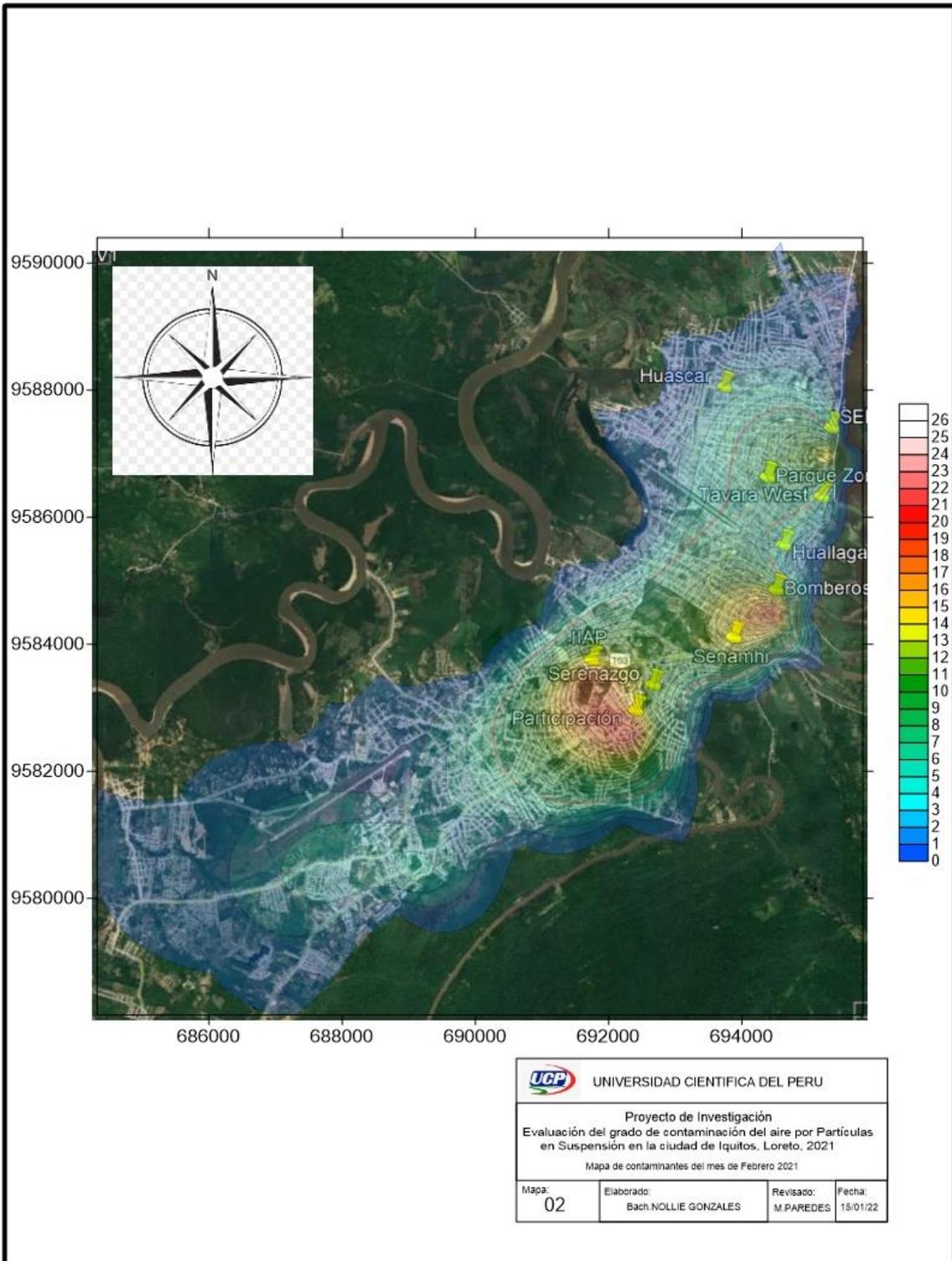


### 4.3 Monitoreo espacial 2021

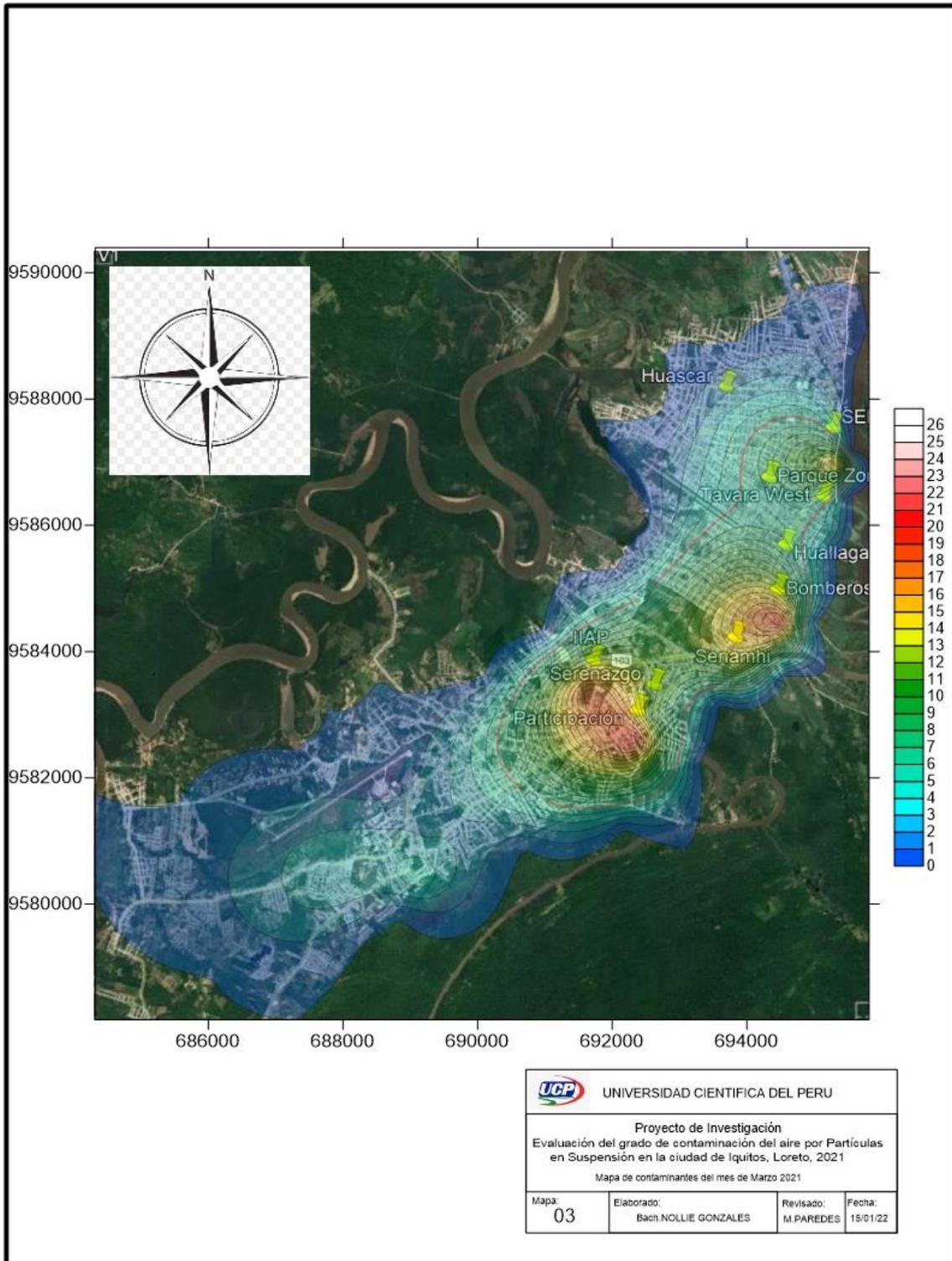
Mapa 1.- Concentración de Partículas en Suspensión - Enero 2021



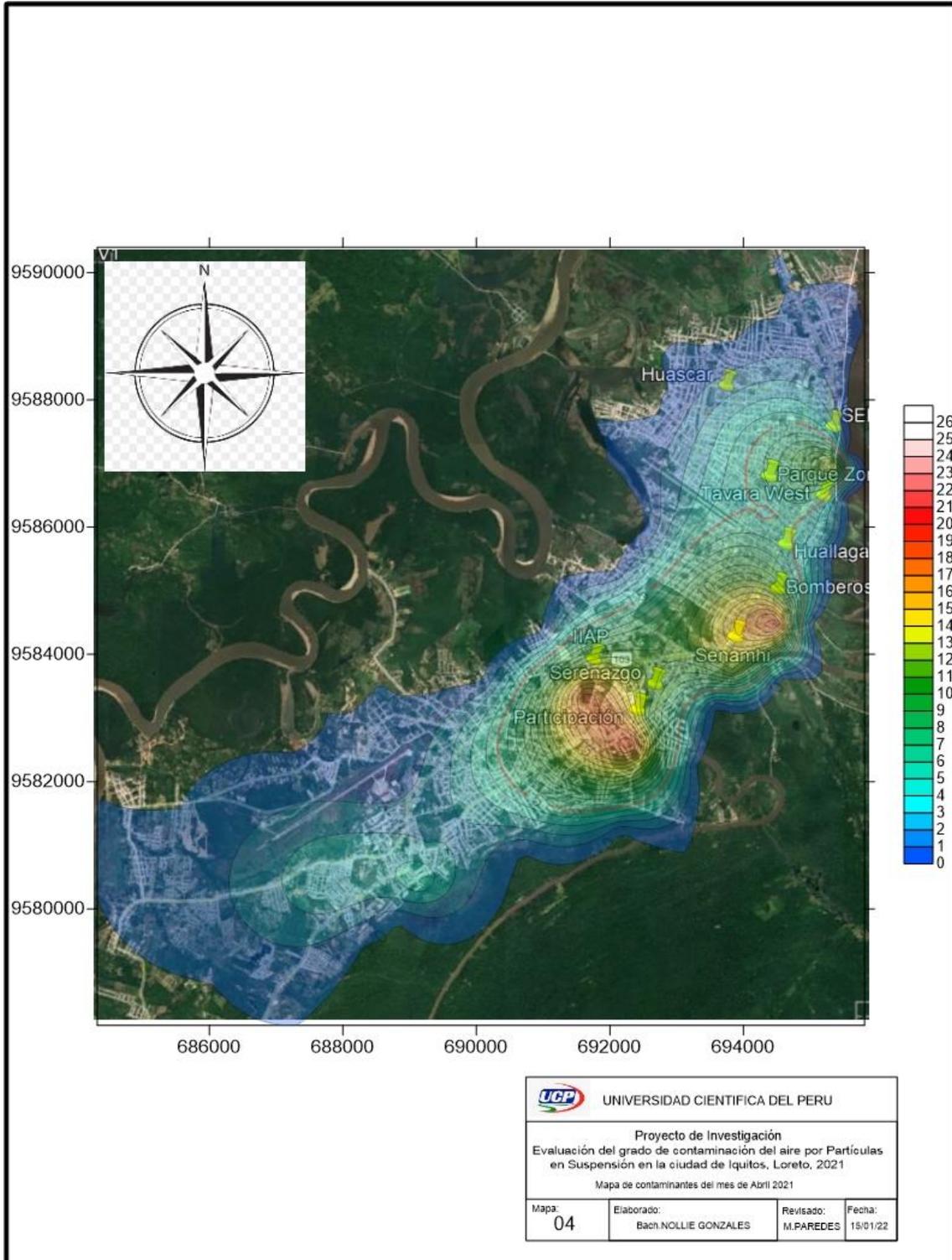
Mapa 2.-Concentración de Partículas en Suspensión - Febrero 2021



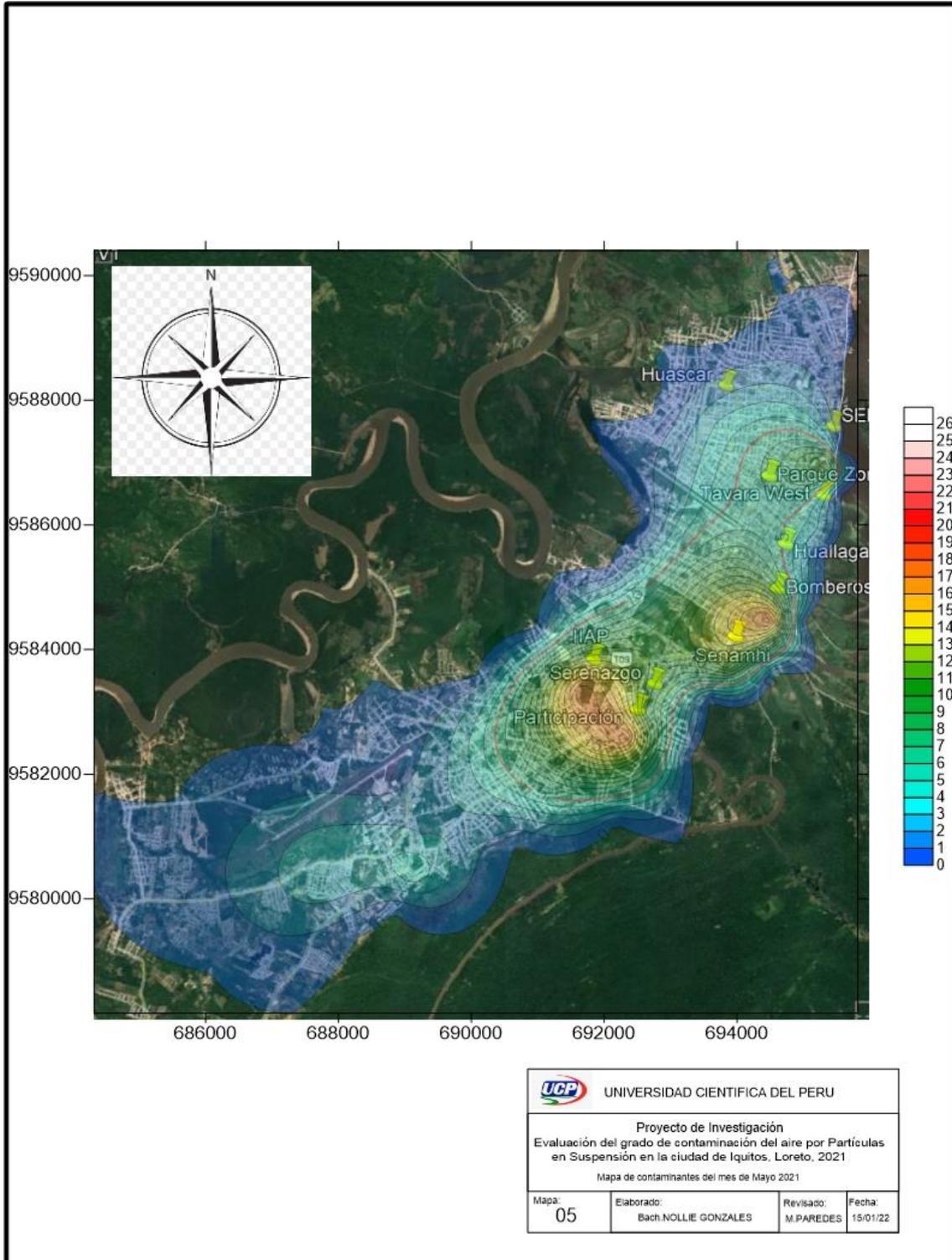
Mapa 3.- Concentración de Partículas en Suspensión - Marzo 2021



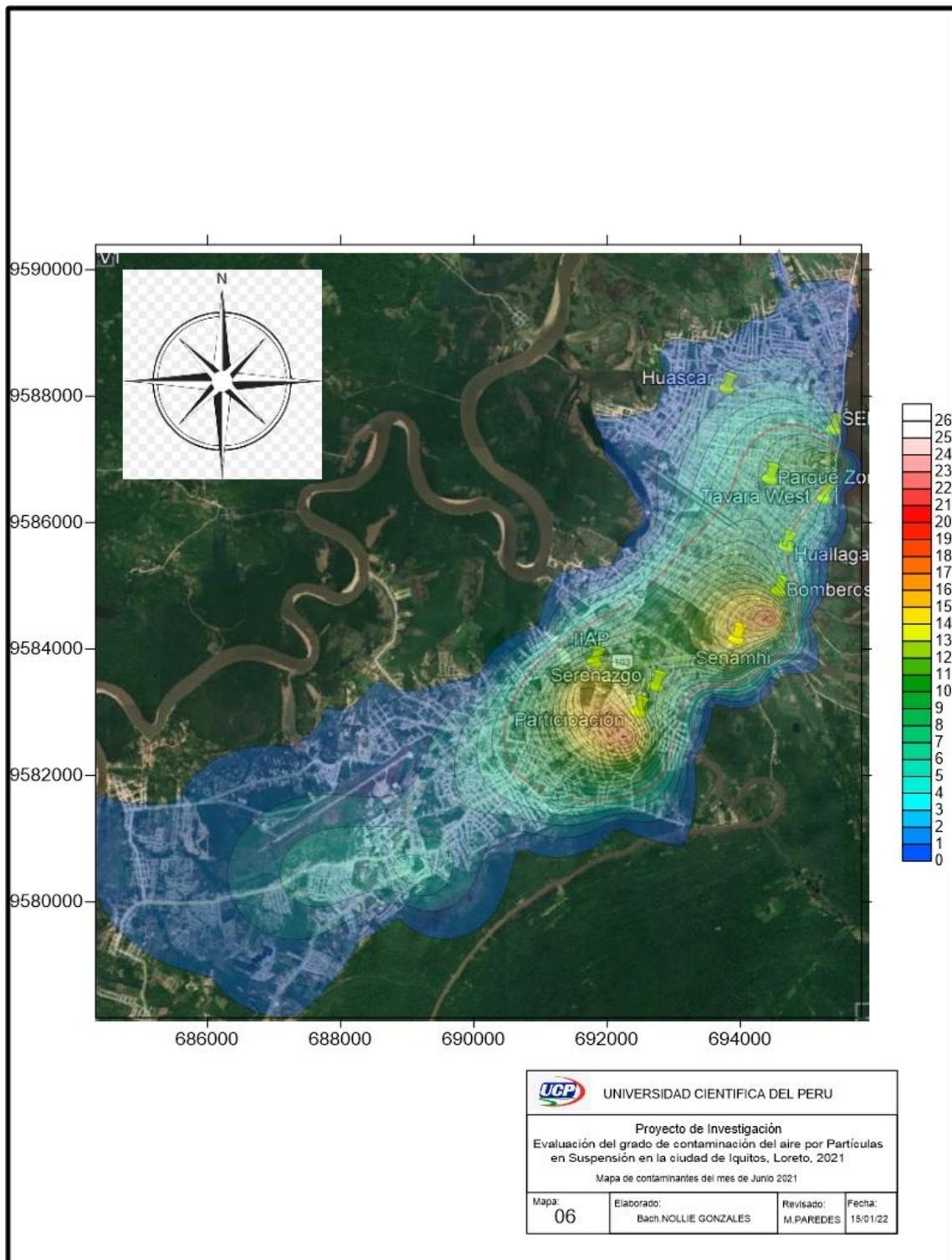
Mapa 4.- Concentración de Partículas en Suspensión - Abril 2021



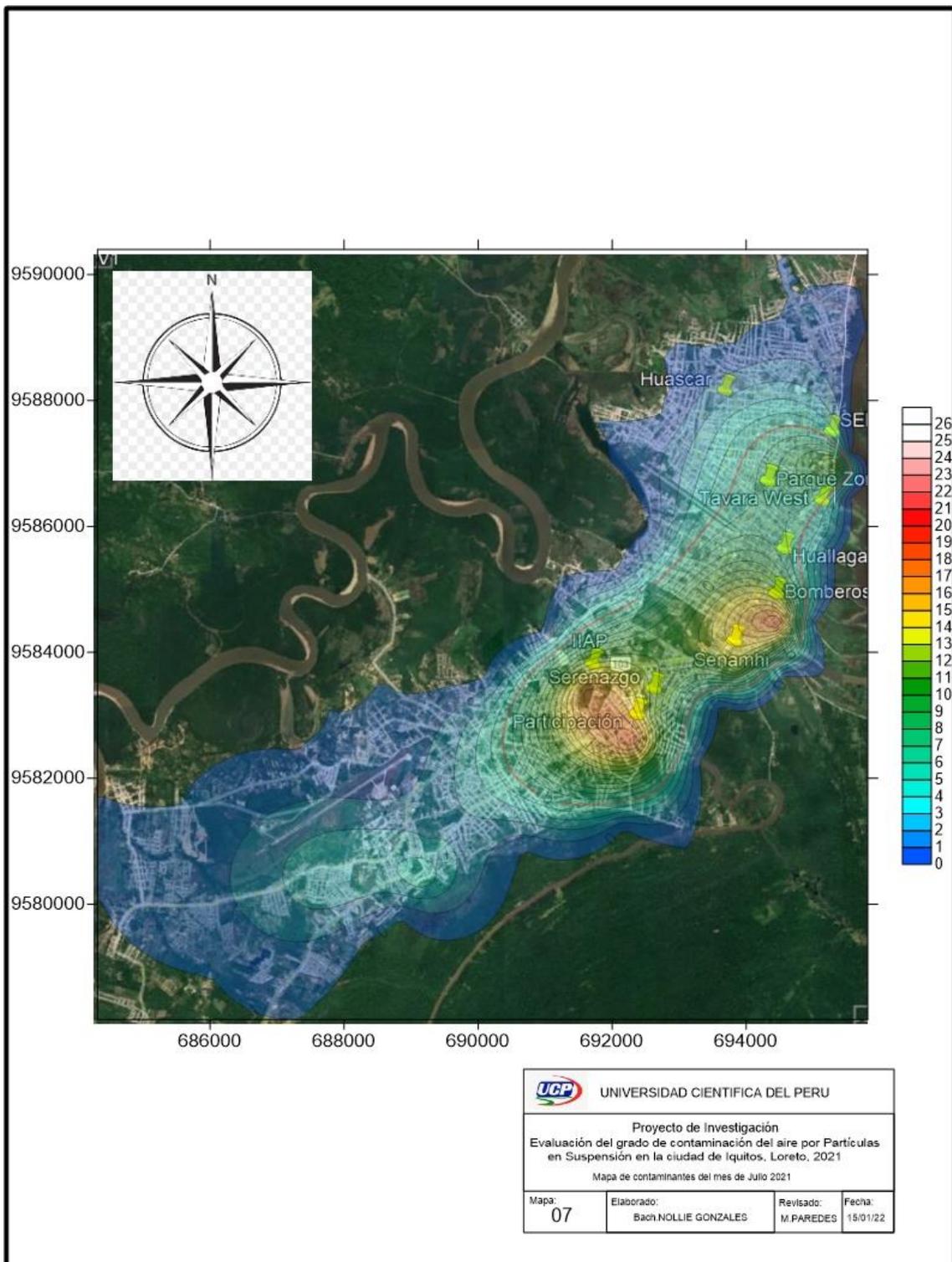
Mapa 5.- Concentración de Partículas en Suspensión - Mayo 2021



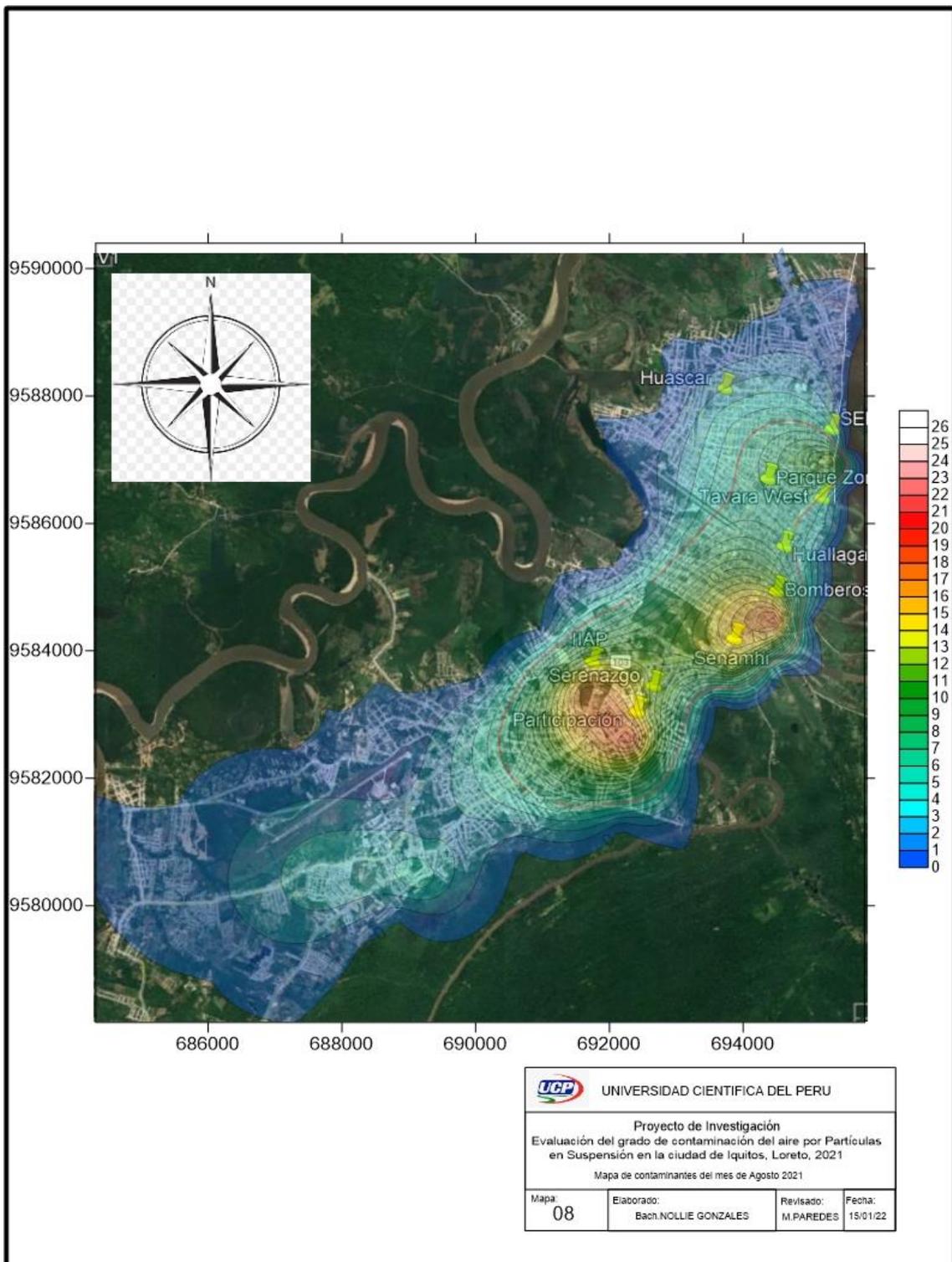
Mapa 6.- Concentración de Partículas en Suspensión - Junio 2021



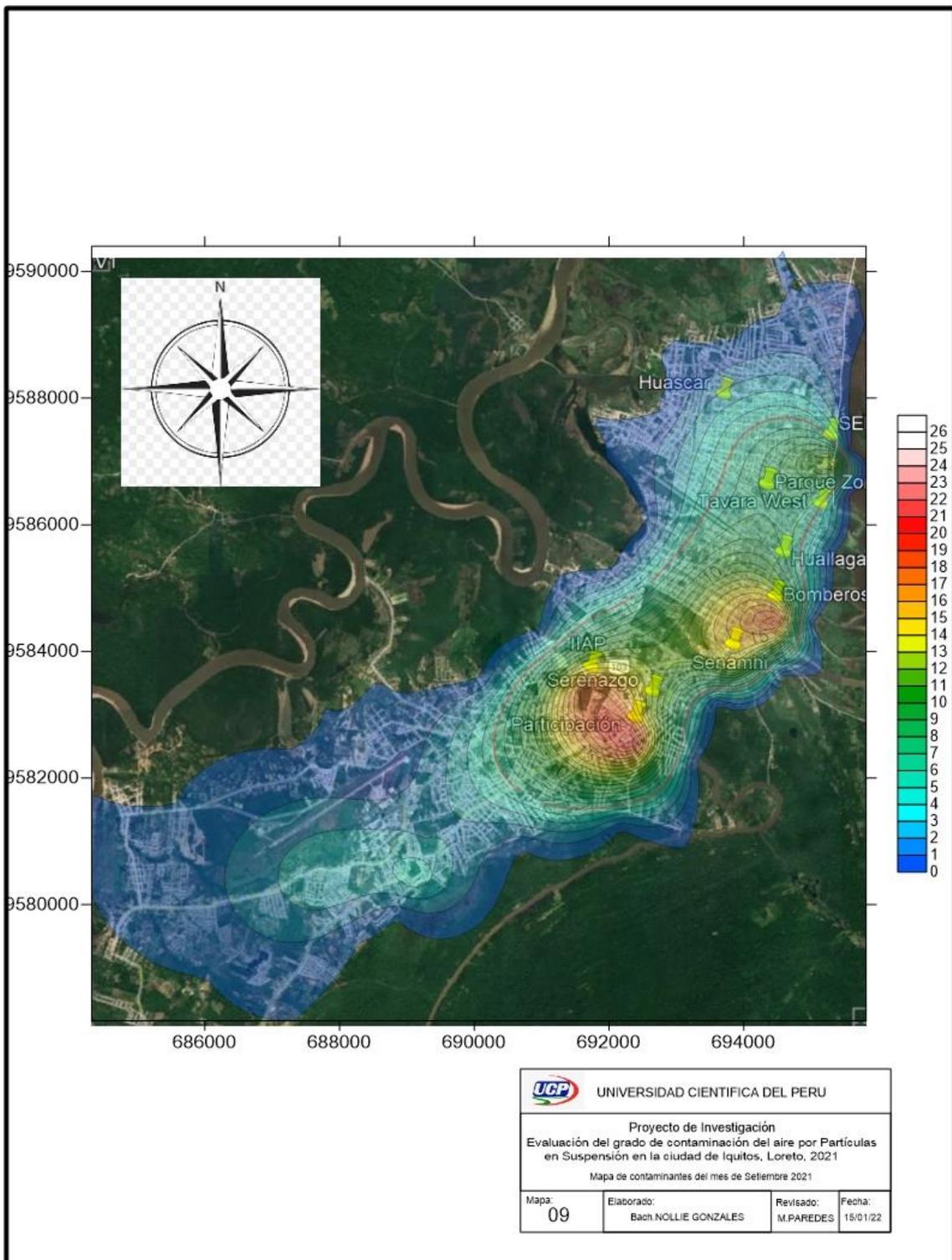
Mapa 7.- Concentración de Partículas en Suspensión - Julio 2021



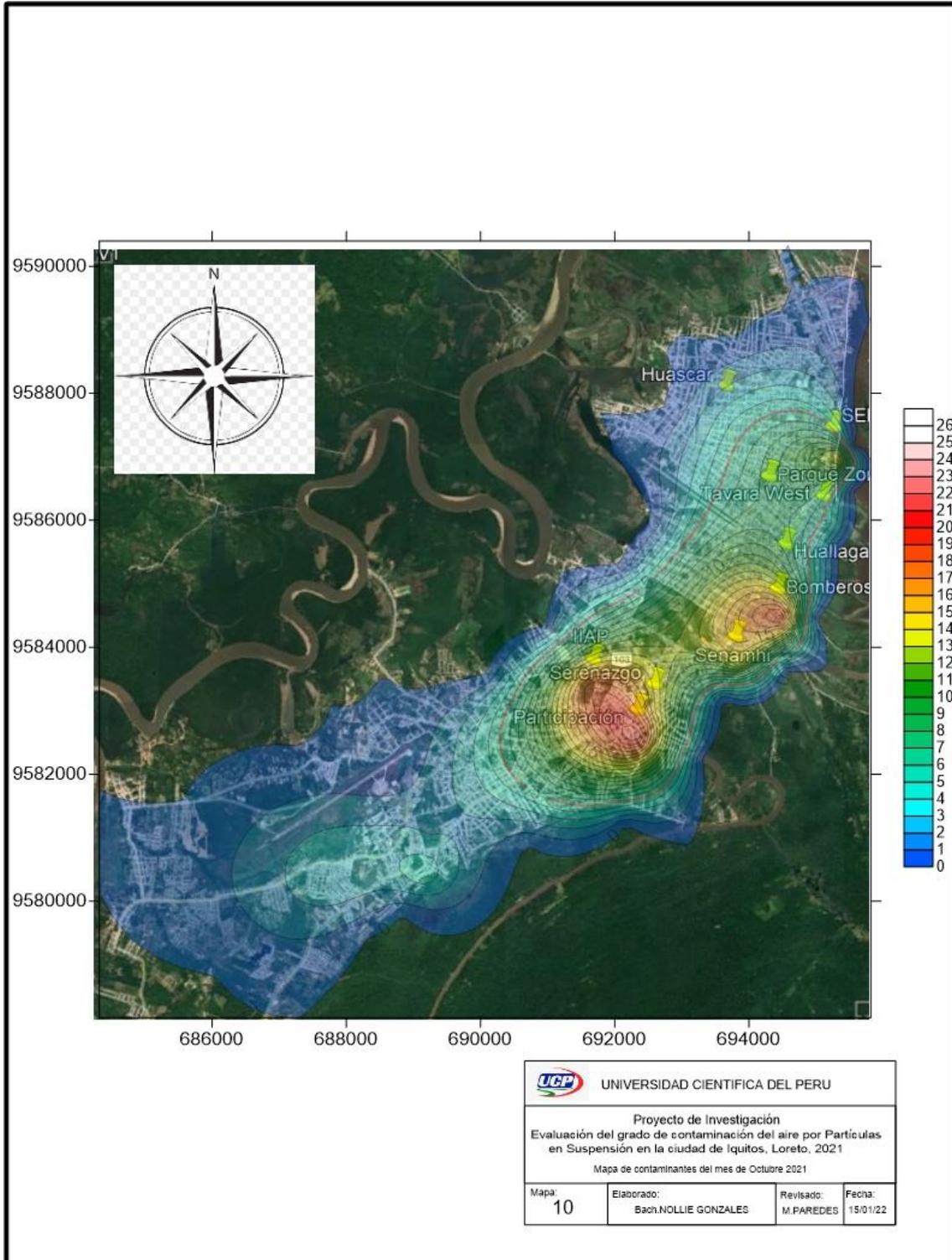
Mapa 8.- Concentración de Partículas en Suspensión - Agosto 2021



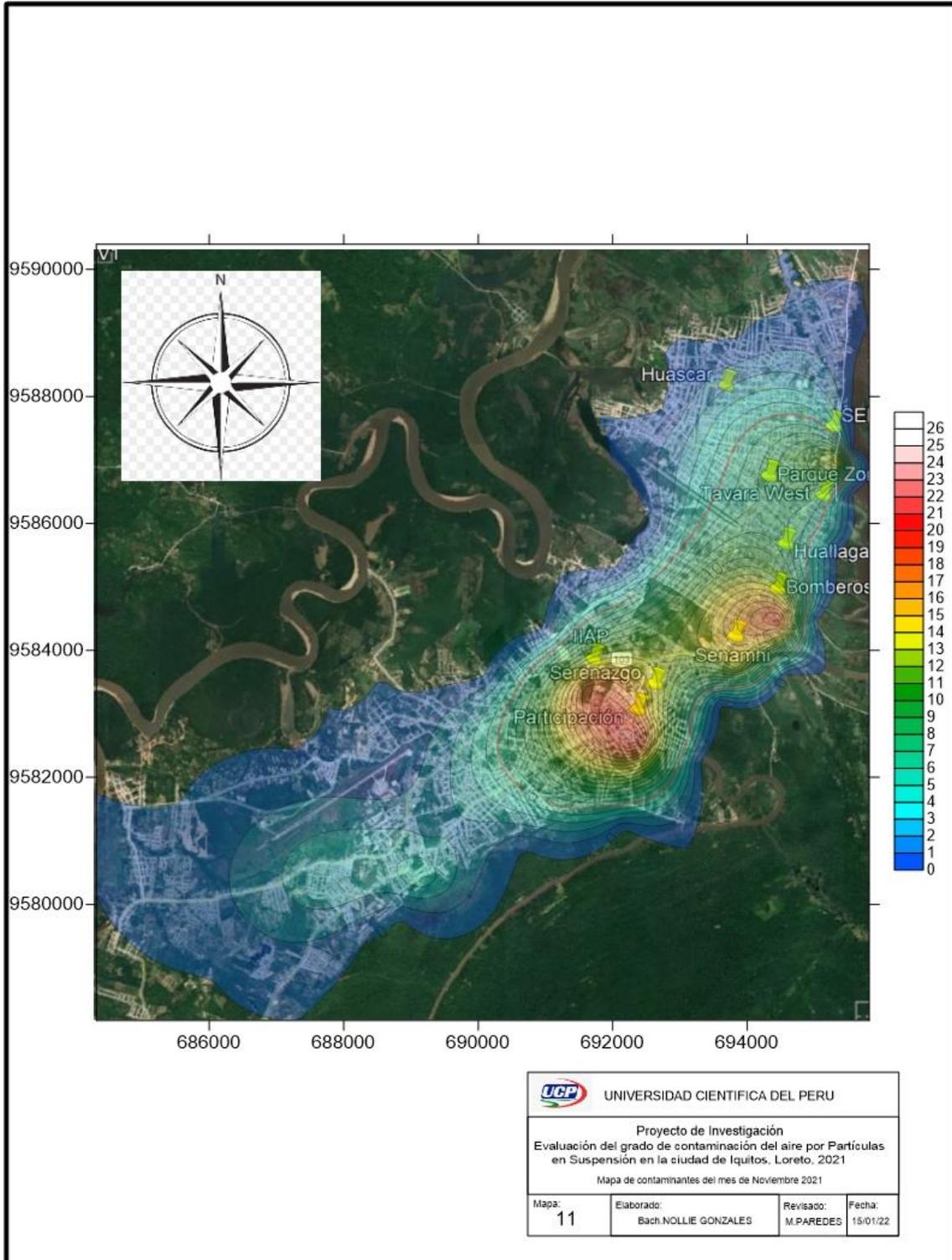
Mapa 9.- Concentración de Partículas en Suspensión - Setiembre 2021



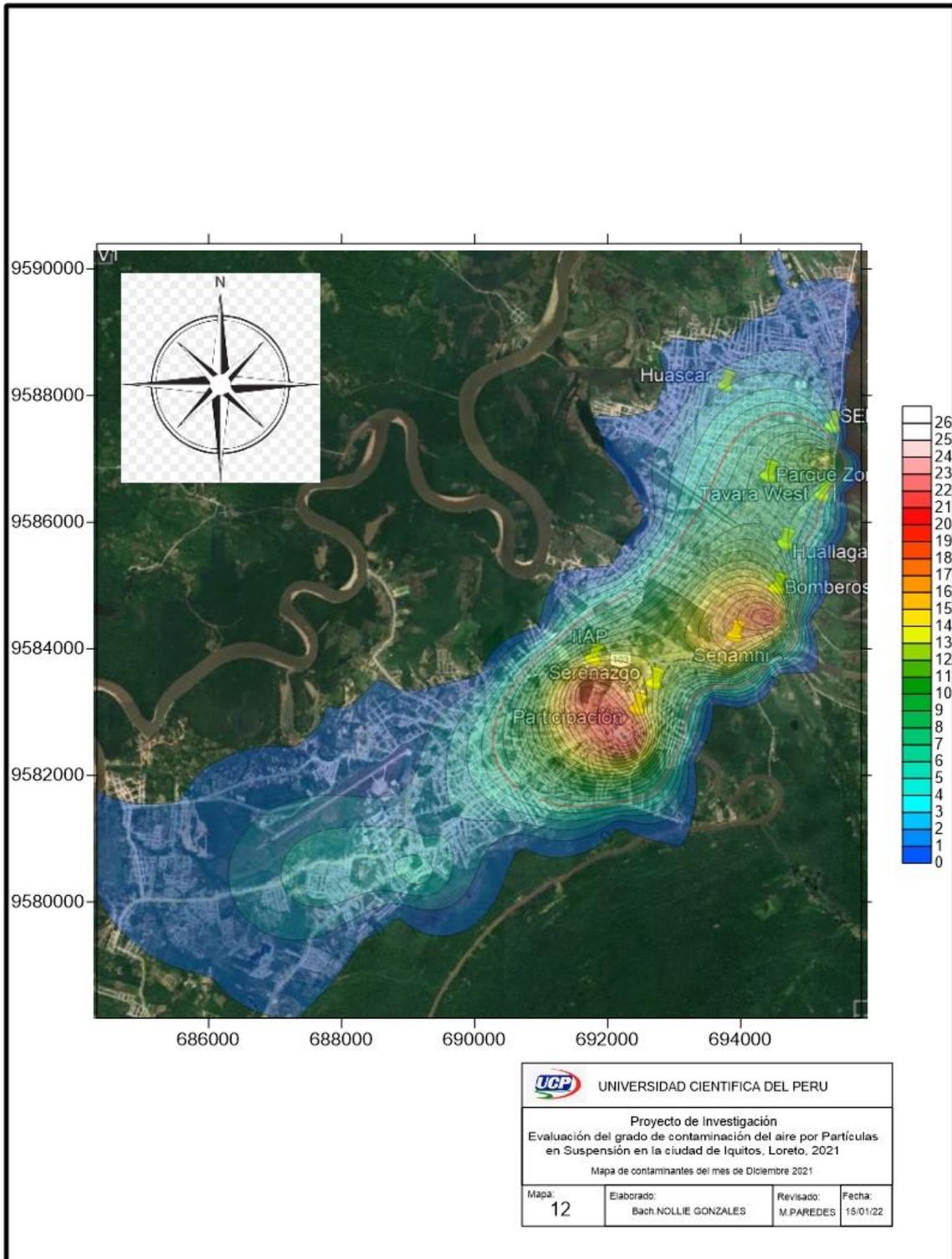
Mapa 10.- Concentración de Partículas en Suspensión - Octubre 2021



Mapa 11.- Concentración de Partículas en Suspensión - Noviembre 2021



Mapa 12.- Concentración de Partículas en Suspensión - Diciembre 2021



## Capítulo V. Discusión, conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Discusión de los Resultados

La red de estaciones instalada en la ciudad de Iquitos, fue compuesta de 10 unidades, distribuidas espacialmente en el casco urbano de la ciudad, con énfasis, dentro de las calles principales de alto tránsito, el ECA establecido como referencia fue el que recomienda CEPIS de  $0.5 \text{ mg/Km}^2$ , destacando que el Perú todavía no tiene un valor establecido para este parámetro.

Del gráfico 2, que controla el ámbito de la Av. Abelardo Quiñonez sobre las instalaciones del IIAP, lugar donde se tiene alto tránsito vehicular, es una de las salidas y/o entrada a la ciudad de Iquitos, tiene una vía asfaltada, sin embargo, las zonas de acera son de material arenoso (por construir), y es un punto donde los vehículos tienen en promedio una velocidad de 30 – 40 Km/hora.

*Foto 1.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión IIAP*



*Foto 2.- Vista panorámica del tránsito alrededor de la estación IIAP*



El promedio de partículas en suspensión del aire en este sector a lo largo del 2021 es de 18.6 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, es bien alto, triplicando el valor referencial de 5 Tn/Km<sup>2</sup> de CEPIS, valor que puede provenir de la emisión del parque automotor, siendo el mes de mayor valor desde enero y febrero. Ver gráfico 2.

*Foto 3.- Vista del tránsito vehicular con dirección Sur - Norte estación IIAP*

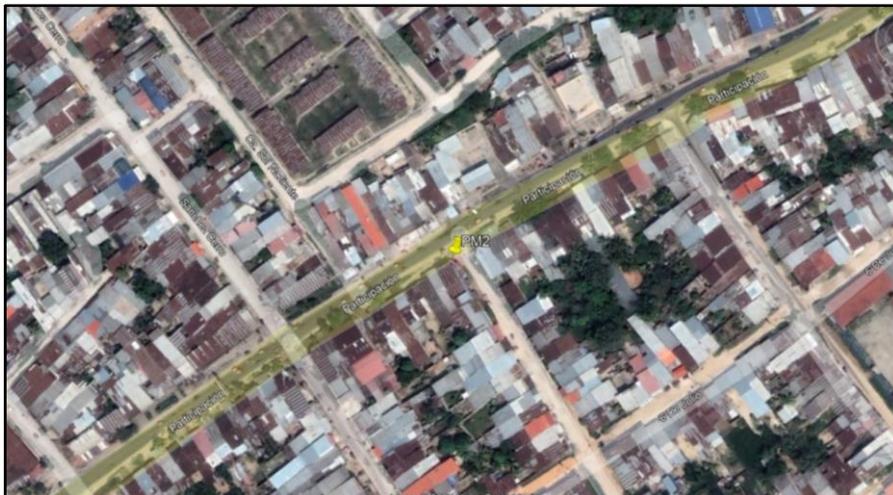


Para los meses de junio y julio los valores presentados son los más bajos del año con 15.4 y 17.8 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, se puede relacionar con el incremento de los valores de lluvia que tiene su máximo apogeo en los meses de mayo y junio estacionalmente hablando. Esta misma metodología fue aplicada por muchos autores [17] quien realizo el mismo estudio en la ciudad de Tacna, encontrando valores altos en lugares donde existe alto tránsito vehicular. En el distrito de Calana fue utilizado el mismo procedimiento a través del estudio de Modelamiento geoestadístico para la determinación de polvo atmosférico

sedimentable, usando los métodos de colectores de polvo y placas receptoras en el área de influencia directa de una ladrillera en el Distrito de Calana – Tacna, cuyo objetivo era determinar el método más apropiado de interpolación para la medición de concentración de Material Particulado del Aire, por medio del software ArcGIS [18].

Otra de las estaciones de interés, se ubicó sobre la Av. Participación cuadra 20, ubicado en el distrito de Belén, durante el año 2021, se puede visualizar que los valores se encuentran en promedio en 21.7 Tn/km<sup>2</sup>/mes, ver gráfico 3. Valor considerado superior en cuatro veces el recomendado por el CEPIS para esta variable, es uno de los puntos más críticos de contaminación en la ciudad,

*Foto 4.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Participación*



Sobre esta Av. Participación, es la vía de tránsito de varios asentamientos humanos que se encuentran ubicados en la ribera del río Itaya como Cabo López, Peña Negra, etc que tiene como única vía de conexión a esta gran Avenida, la vía es asfaltada de 6 m de ancho, sin embargo, los costados de la avenida son de material arenoso limoso.

*Foto 5.- Vista panorámica del tránsito alrededor de la estación Participación*



Por ella circula alto tránsito vehicular, no hay muchas áreas verdes por el crecimiento poblacional desordenado, y en muchas esquinas del punto de control son depósitos informales de residuos sólidos.

*Foto 6.- Vista del tránsito vehicular con dirección Sur - Norte estación Participación*



En un análisis de flujo vehicular, existe un alto tránsito vehicular por este lugar, y es la fuente de contaminantes con mayor preponderancia en el sector.

*Foto 7.- Vista Panorámica alrededor de la estación Participación (RRSS)*



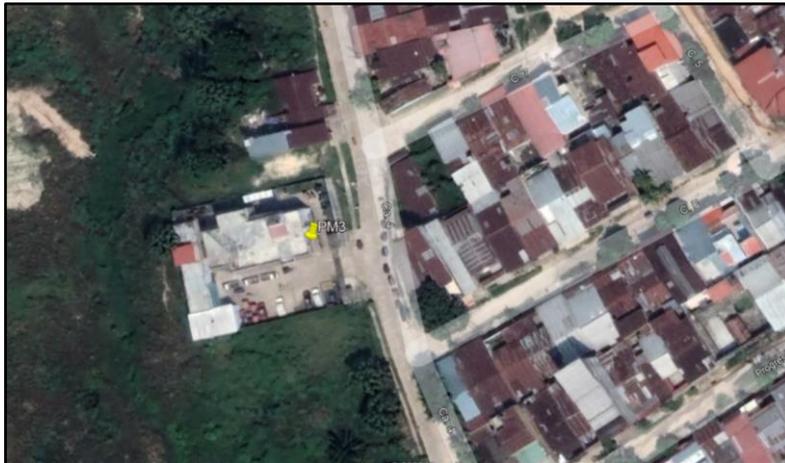
*Foto 8.- Vista del tránsito alrededor de la estación Participación (RRSS)*



Espacialmente, la contaminación de este sector irradia a casi a 4 cuadras a la redonda, ver mapas de distribución espacial 2 al 13 donde a lo largo del año se manifiesta este núcleo, temporalmente, se aprecia, una ligera disminución en los meses de mayo y junio, coincidente con la época de creciente de la región (época lluviosa).

La estación de control PM3, se ubicó en el distrito de Belén, en la base del serenazgo del distrito, en la Urbanización Riomar, los valores están más bajos que los puntos de monitoreo mencionado en los párrafos anteriores. Ver ubicación siguiente.

Foto 9.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Serenazgo Belén



En cuanto al escenario externo, por la parte Oeste del punto de monitoreo se encuentra un área verde que oxigena en parte al sector, sin embargo, se ve una clara influencia de las partículas provenientes de la Av. Participación, el flujo de aire y la configuración del río Itaya hacen que se produzca la denominada brisa de tierra, La **brisa** es un tipo de viento local motivado por los movimientos de masas de aire debido al heterogéneo calentamiento del relieve por el Sol. Esto da lugar a que se produzcan movimientos verticales de las masas de aire que provocan vacíos y desequilibrios de presión [19]. Con el fin de restablecer estas inestabilidades, nuevas masas de aire se desplazan para llenar estos vacíos de baja presión. Se distinguen los siguientes tipos de brisas:

- **Brisas marinas.** Se localizan en las costas o riberas de río y se producen por el efecto de las diferencias de calentamiento y enfriamiento que experimenta la Tierra y las masas de agua. Durante el día la mayor temperatura de la tierra da lugar a ascensiones del aire calentado que son rápidamente compensadas por la llegada de aire frío procedente del mar o grandes lagos. Al anochecer hay un periodo de calma cuando las temperaturas se igualan. Durante la noche el mecanismo se invierte al estar el agua más caliente aunque la velocidad del viento suele ser menor debido a que las diferencias no son tan acusadas.
- **Brisas de valle y de montaña.** Similares a las anteriores se producen por la diferencia de insolación y las diferencias de calentamiento del

aire en las zonas de cumbres, cabeceras de los valles y fondos de los mismos. Esto da lugar a que durante el día se produzca una fuerte ascendencia sobre las laderas expuestas al sol, así como subsidencias en la parte central del valle. A última hora del día ocurre lo contrario, es decir, desde las laderas, que ya no son calentadas por el sol, el aire desciende por enfriamiento hacia el fondo del valle levantando el aire aún cálido que se mantiene en estos.

Gráfico 13.- Esquema del proceso de Brisa Diurna (a) y brisa Nocturna (b)

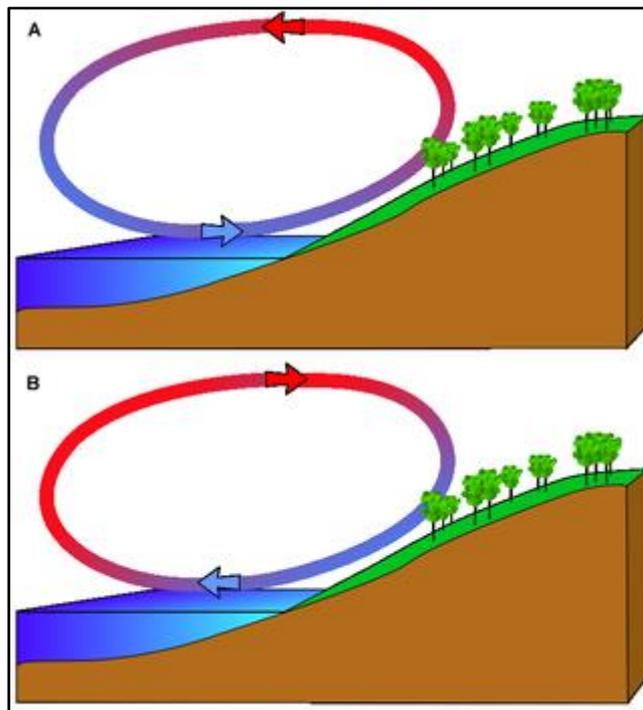




Foto 11.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión SENAMHI



Los valores obtenidos en forma mensual se presentan en el cuadro 2 y se encuentran por debajo del monitoreo realizado en el año 2014 bajo esta misma metodología que llegó a  $26.14 \text{ Tn/Km}^2/\text{mes}$ [20]. Es decir, una disminución de casi un 50% en un periodo de siete (07) años, que puede deberse al crecimiento de viviendas y a la construcción de pistas y aceras en el distrito de Belén, hay que tener en cuenta que en la parte Este de la estación de control existe un cuartel militar donde se iniciaron la construcción del Mercado de Belén (que está a medio construir), estos podrían ser los factores de la disminución.

En la estación Bomberos, ubicada en el centro comercial de la ciudad de Iquitos, muy cercano al mercado de Belén, en la calle Próspero esquina con la calle Julio C. Arana, ver foto 12.

Foto 12.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Bomberos

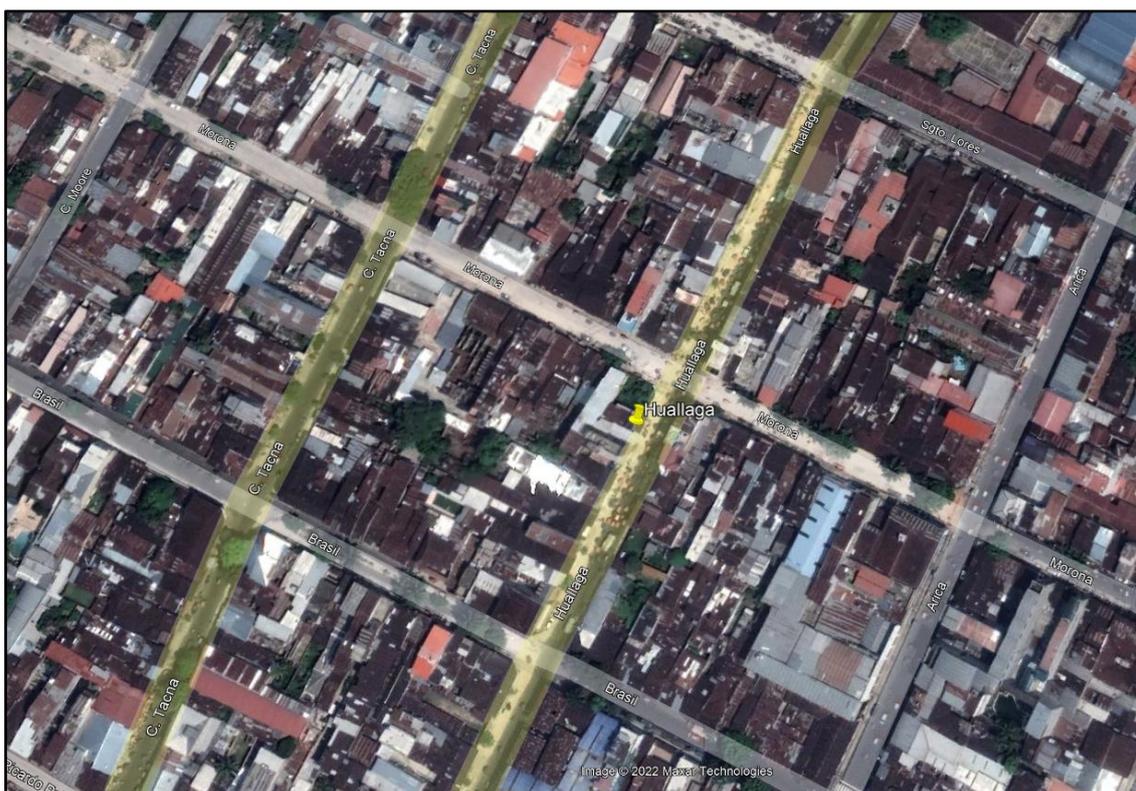


El escenario externo al punto de monitoreo, se muestra que es una zona 100% comercial con bastante afluencia de personas que llegan y salen en sus unidades vehicular (motokar y motos lineales), ver foto 12, no existen en este sector área verdes que amortiguen los valores de concentración de cualquier elemento gaseoso que se vierta en esta zona, los valores promedios durante el año 2021 han estado en promedio entre los 20.4 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, superando en 4 veces el valor referencial de la OMS de 5 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, el mayor valor de concentración de partículas en suspensión se presenta en el mes de enero del 2021, ver cuadro 2 con 24.8 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, el mes de menos concentración se presenta en mayo con 18.1 Tn/Km<sup>2</sup>/mes. En resumen, se puede decir que es uno de los sectores más críticos de la ciudad de Iquitos y que la mayor fuente de emisión proviene de las unidades vehiculares. Coincidiendo con lo que menciona Khan [20] donde indica que las concentraciones “máximas” para ese año llegan a estar hasta 5 veces por encima de LMP recomendado por la OMS y que en gran parte se debe al parque automotor, asimismo, en el estudio realizado por SENAMHI bajo esta misma metodología comprueba que el parque automotor es causante en mayor proporción de la contaminación producida en Lima Metropolitana seguida de las actividades comerciales (pollerías, panaderías, restaurantes, etc) encontrando valores de 59.7 t/km<sup>2</sup>xmes en San Juan de Lurigancho, Comas con 37,5 t/km<sup>2</sup>/mes y Bellavista 3.67 t/km<sup>2</sup>/mes (SENAMHI, 2014), superando en gran

proporción lo recomendado por la OMS, como se aprecia en estos resultados, ciudades más terrestres o internas presentan mayores valores que ciudades cercanas a una fuente hídrica en este caso el mar Peruano.

La estación de monitoreo Huallaga, ubicada en pleno centro de la ciudad de Iquitos, dentro del casco urbano, cercano a la calle Morona, donde se aprecia pocas áreas verdes y solo resalta las calles asfaltadas, zona comercial moderada.

*Foto 13.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Huallaga*

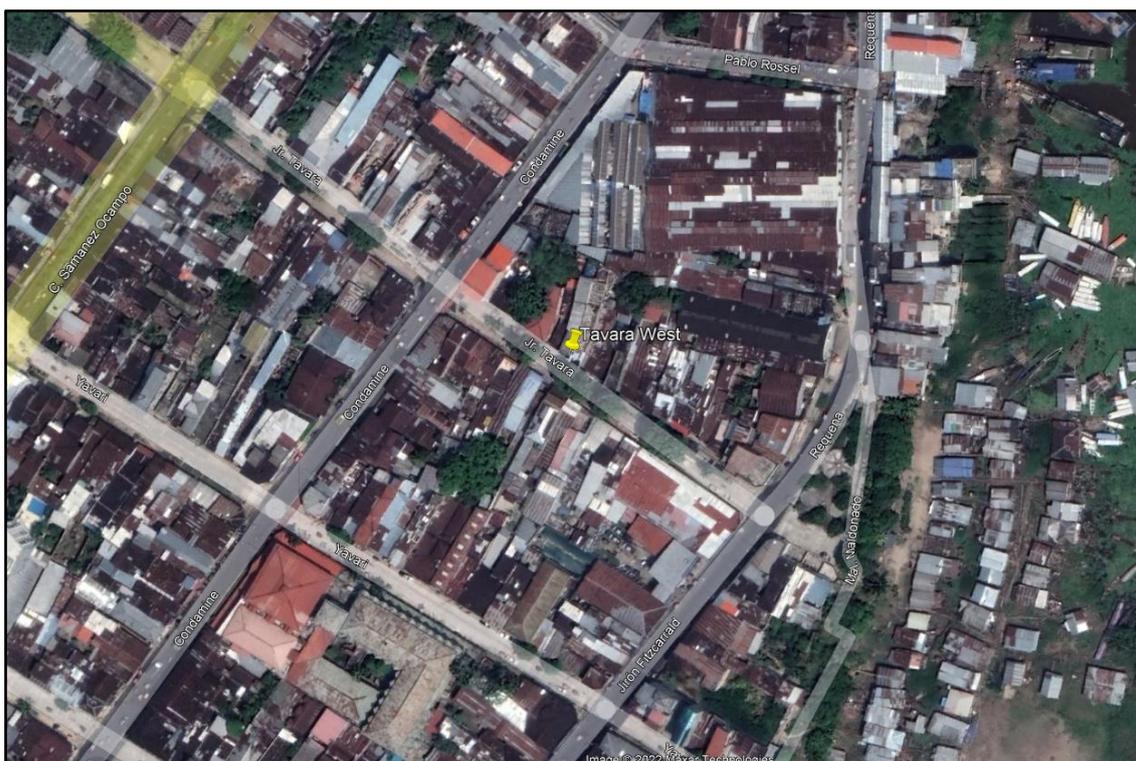


Los valores promedios de concentración de partículas en suspensión del aire, durante el año 2021, fluctúan entre los 9.1 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, valor considerado superior a lo recomendado por la OMS, se puede decir que, el causante es el parque automotor que transita por estas calles. Tiene un valor más bajo que los anteriores puntos de control, debido a que, es una calle de un solo sentido, por lo tanto, el flujo es moderado. Los valores obtenidos en este punto de control indican que puede ser controlado. Estos resultados coordinan con lo expresado anteriormente por Torres [1] en su investigación de material particulado 2.5 y 10

en los años 2003 y 2017 para una estación ubicada en el Consulado de Brasil ubicado en la calle Calvo de Araujo indica que hubo una ligera disminución de los valores obtenidos entre ese periodo de tiempo, sin embargo, se encuentran superando el ECA manifestado en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (norma vigente)

En la estación de monitoreo Távara, ubicada en la cuadra 2 de la calle del mismo nombre (ver foto 14), a escasos 100 m del río Itaya y con poca afluencia de flujo de tránsito, los valores obtenidos fluctúan alrededor de 3.6 Tn/Km<sup>2</sup>/mes, muy por debajo de lo recomendado por la OMS y CEPIS, es uno de los lugares con más baja concentración de contaminantes en la ciudad de Iquitos, el flujo de viento o brisa que se presenta todos los días ayuda en gran medida a dispersar las partículas en suspensión del aire, la dirección del viento predominantes proviene del Sureste siendo un eficiente limpiador natural del aire.

Foto 14.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Távara

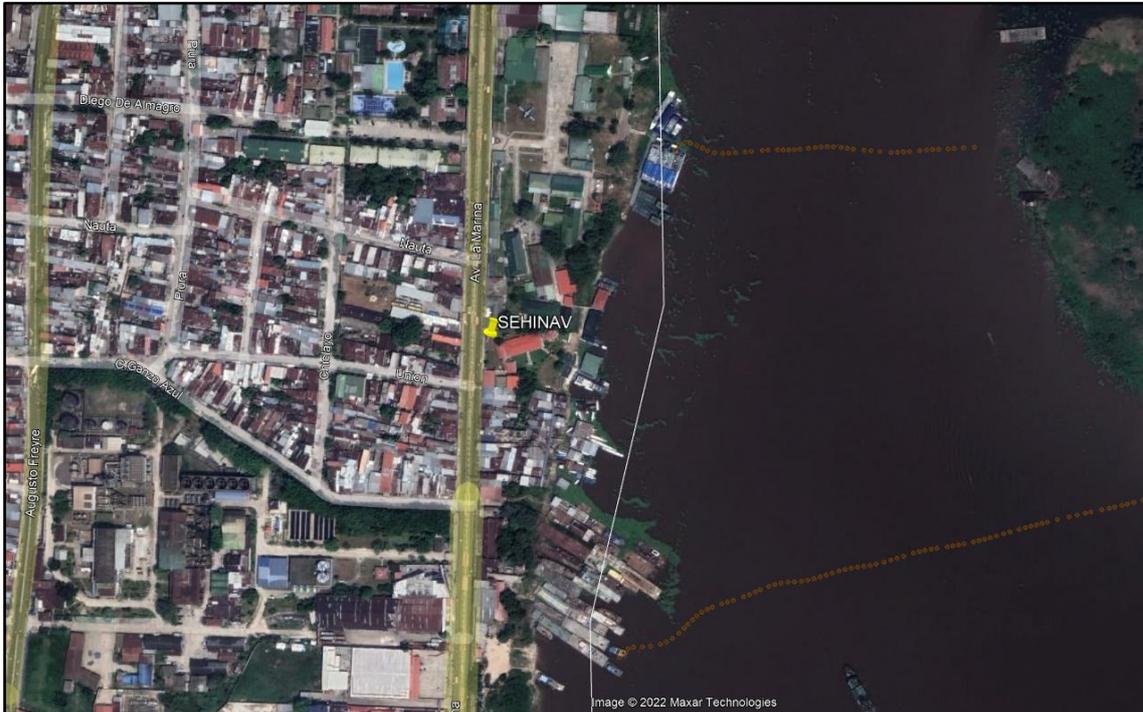


La estación Parque Zonal es un punto de monitoreo estratégico de la ciudad, prácticamente es el promedio que respira la ciudad de Iquitos, ubicado en la calle



con  $11.7 \text{ Tn/Km}^2/\text{mes}$ , se estima que la causante de estos valores es el parque automotor, por el lugar no se encuentran fabricas ni pollerías.

*Foto 16.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión SEHINAV*



La estación de control de partículas en suspensión Huáscar, ubicada en el distrito de Punchana (ver foto 17), muy cercano a las Av. 28 de Julio y Navarro Cáuper, se puede considerar zona urbana en su totalidad, los valores promedios encontrados fluctúan entre los  $3.4 \text{ Tn/Km}^2/\text{mes}$  durante el 2021, considerado por debajo del valor referencial de la OMS. La máxima concentración se presenta en el mes de enero con  $4.8 \text{ Tn/Km}^2/\text{mes}$  y la mínima en el mes de junio con  $2.8 \text{ Tn/Km}^2/\text{mes}$ , en el área no existe mucho tránsito vehicular y alejado de vías principales.

Foto 17.- Estación de Monitoreo de Partículas en Suspensión Huáscar



## 5.2 Conclusiones

Se determinó la evolución temporal de la concentración de partículas en suspensión para 10 estaciones de control ubicadas en la ciudad de Iquitos.

Para el monitoreo atmosférico, se utilizó el método pasivo de placas colectoras para el control de un periodo de tiempo de 30 días en promedio durante todo el año 2021. Método utilizado en diversas ciudades del Perú y validado por la OMS.

Se ha determinado que 08 estaciones de monitoreo de partículas en suspensión del aire sobrepasan el valor referencial de la OMS, dichas estaciones son: IIAP, Participación, Serenazgo Belén, SENAMHI, Bomberos, Huallaga, Parque zonal y SEHINAV.

De las 08 estaciones que sobrepasaron el valor referencial de la OMS (5 Tn/Km<sup>2</sup>/mes), hay lugares que se pueden catalogar como “Muy Críticos” por tener valores de hasta 04 veces superiores al valor referencial: IIAP, Participación y Bomberos, “Críticos” como SENAMHI y SEHINAV y “Ligeramente Críticos” como Serenazgo Belén, Parque Zonal y Huallaga.

Las estaciones Távara y Huáscar muestran valores por debajo del valor referencial de la OMS, siendo 3.6 y 3.4 Tn/Km<sup>2</sup>/mes respectivamente durante el año 2021, se puede considerar como sectores con buena dispersión del aire.

En cuanto a las variaciones temporales de la concentración de partículas en suspensión durante los meses del 2021, máximos en el mes de enero y mínimos en el mes de mayo, por lo que se aprecia que tiene una relación inversa con el patrón de lluvias de la región.

Los valores obtenidos en el 2021, se encuentran por debajo del monitoreo realizado en el año 2014 bajo esta misma metodología que llegó a 26.14 Tn/Km<sup>2</sup>/mes [20] . Es decir, una disminución de casi un 50% en un periodo

de siete (07) años, que puede deberse al crecimiento de viviendas y a la construcción de pistas y aceras en el distrito de Belén.

### **5.3 Recomendaciones**

Complementar los monitoreos ambientales de concentración realizados en el 2021, con evaluación de la calidad de las partículas en suspensión del aire, por el momento se sabe que existen áreas críticas, pero se requiere en forma urgente conocer el origen y el tipo de contaminantes del aire.

## Referencias Bibliográficas

- [1] B. V. T. MACEDO, «“EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO (PM-2.5 Y PM-10), EN LOS AÑOS 2002 – 2003 CON EL AÑO 2017 EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA DE IQUITOS”», UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ, SAN JUAN BAUTISTA- MAYNAS- LORETO, 2017.  
[En línea]. Disponible en:  
[http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/437/TESIS\\_11\\_04\\_18.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/437/TESIS_11_04_18.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [2] M. P. CASTRO UTCANI, «EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE OCASIONADO POR EL POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE MEDIANTE EL MÉTODO DE PLACAS RECEPTORAS EN EL ÁREA URBANA DEL CENTRO POBLADO DE PARAGSHA - REGIÓN PASCO, AGOSTO-NOVIEMBRE 2017», UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA, CERRO DE PASCO- PERÚ, 2019.  
[En línea]. Disponible en:  
[http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1989/1/T026\\_43962857\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1989/1/T026_43962857_T.pdf)
- [3] R. F. TORRES CASTILLO, «REDUCCION DEL POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE A TRAVÉS DE FICUS BENJAMINA Y SALIX HUMBOLDTIANA EN EL DISTRITO DE SAN MARTIN DE PORRES», UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL.  
[En línea]. Disponible en:  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF\\_d06778967f545655c2b2c30dc562b74b](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_d06778967f545655c2b2c30dc562b74b)
- [4] A. A. MENDEZ FIGUEROA y V. J. A. MORAN AMASIFUEN, «“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA ZONA INDUSTRIAL DEL CERCADO DE TACNA 2020”», UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, TACNA, 2020.  
[En línea]. Disponible en:  
<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1720/Mendez-Figueroa-Moran-Amasifuen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] F. S. FLORES ROJAS, «DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS SEDIMENTABLES, MEDIANTE EL MÉTODO DE MUESTREO PASIVO, EN LA CIUDAD DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, 2015.”», UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN, SAN MARTIN, 2015.  
[En línea]. Disponible en:  
<https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2757/AMBIENTAL%20-%20Francie%20Stefanny%20Flores%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] P. B. MARTIN, «CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES», UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, BUENS AIRES, 2005. [En línea]. Disponible en:  
[https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n3931\\_Martin.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3931_Martin.pdf)

- [7] L. ALVAREZ MIÑO y A. SALAZAR CEBALLOS, «SÍNTOMAS RESPIRATORIOS Y FUNCIÓN PULMONAR EN NIÑOS DE 6 A 14 AÑOS DE EDAD Y SU RELACIÓN CON LA CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO PM10 EN SANTA MARTA- COLOMBIA», *Rev Esp Salud Pública*, vol. 87, n.º 3, p. 8, 2013.  
[En línea]. Disponible en: [https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v87n3/03\\_original2.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v87n3/03_original2.pdf)
- [8] A. J. ARRIETA FUENTES, «DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM10), CON INTERRELACIÓN DE FACTORES METEOROLÓGICOS Y TOPOGRÁFICOS», 2422-4324, vol. 16, n.º 2, p. 12, 2016.
- [9] M. MOLINA, «PROYECTO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE MÉXICO 2001-2010. GACETA ECOLÓGICA, I(57), 28-37.», *Gaceta Ecológica*, n.º 57, p. 11, 2000.
- [10] T. SPIRO y W. STIGLIANI, QUIMICA MEDIOAMBIENTAL 2º EDIC., 2º EDICIÓN. Madrid, España: PRENTICE HALL, 2003.
- [11] N. DE NEVERS, *INGENIERÍA DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE*. MEXICO: McGraw-Hill, 1998.  
[En línea]. Disponible en:  
<file:///C:/Users/PC/Downloads/INGENIER%20C3%8DA%20DE%20CONTROL%20DE%20LA%20CONTAMINACI%20N%20DEL%20AIRE-NOEL%20DE%20NEVERS%20-%20C.pdf>
- [12] GESTA ZONAL DE IQUITOS, «PLAN “A LIMPIAR EL AIRE” DE LA CIUDAD DE IQUITOS». CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE - CONAM, 2006.  
[En línea]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:oh-jjKnqWlYJ:siar.regionloreto.gob.pe/download/file/fid/51273+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe>
- [13] OMS, DIRECTRICES MUNDIALES DE LA OMS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE. ALEMANIA, 2021.
- [14] S. BILLET *et al.*, «AMBIENT PARTICULATE MATTER (PM2.5): PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND METABOLIC ACTIVATION OF THE ORGANIC FRACTION IN HUMAN LUNG EPITHELIAL CELLS (A549)», *ELSEVIER*, vol. 105, n.º 2, pp. 212-223, 2007.
- [15] SENAMHI, «VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO», SENAMHI, LIMA, BOLETIN CLIMATICO NACIONAL, 2021.  
[En línea]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03201SENA-92.pdf>
- [16] INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA, «MANUAL 3 REDES ESTACIONES Y EQUIPOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE».  
[En línea]. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

[17] J. L. MIRANDA CASAPIA y L. MERMA ARUHUANA, «“EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE Y MATERIAL PARTICULADO (PM2.5, PM10) PARA LA GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE 2017 EN LA CIUDAD DE TACNA”», UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, TACNA, 2017.

[En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/354/Miranda-Jeissy-Merma-Lizbeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[18] V. VARGAS FLORES, «“MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE, USANDO LOS MÉTODOS DE COLECTORES DE POLVO Y PLACAS RECEPTORAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE UNA LADRILLERA EN EL DISTRITO DE CALANA - TACNA”», UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, TACNA, 2019.

[En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1260/Vargas-Flores-Vanesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[19] AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGIA, «DICIONARIO ILUSTRADO DE METEOROLOGIA-BRISA», *DICIONARIO ILUSTRADO DE METEOROLOGIA*. AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGIA, España, 2018.

[En línea]. Disponible en: <https://meteoglosario.aemet.es/>

[20] J. KHAN RENGIFO, «ESTIMACIÓN DE LOS NIVELES DE POLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y SU INFLUENCIA EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA CIUDAD METROPOLITANA DE IQUITOS», UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ, 2018.

[21] CASAS CASTILLO CARMEN, "METEOLOGÍA Y CLIMA" UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA , ESPAÑA 1999. PRIMERA EDICIÓN, 84-8301-355X -EDICIONES UPC.

[22] QUEROL XAVIER, "CALIDAD DE AIRE, PARTÍCULAS DE SUSPENSIÓN Y METALES", INSTITUTO DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y ESTUDIOS DEL AGUA, N° 5, 82,447-454, ESPAÑA 2008

[En línea]. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/resp/2008.v82n5/447-454/es>

[23] BEGOÑA ARTIÑANO RODRÍGUEZ DE TORRES, XAVIER QUEROL CARCELLER "CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PRODUCIDAS POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN MADRID" UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, 978-84-669-2560-0 España 2005

[En línea]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/5402/1/T27355.pdf>

[24] HERRERAS DIAZ SANTOS CLEMENTE "DISTRIBUCIÓN ESPACIAL VERTICAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM10 DEL MEDIO ATMOSFÉRICO URBANO EN SEGUNDA JERUSALÉN-RIOJA-SAN MARTÍN-PERÚ", UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO, MOYOBAMBA PERÚ 2011

[En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/415/TPEPG-M000142011.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

