



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES DE SO₂ POR EMISIONES EN UNA
REFINERIA: CASO REFINERIA CAJAMARQUILLA SANTA MARIA DE HUACHIPA,
DISTRITO DE LURIGANCHO CHOSICA – 2020-2021

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, prevención de riesgos, hidráulica y geotécnica

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Trujillo Jurado, Carlos Daniel

Asesor:

Roxana Clara Yaquely, Aparicio Ilazaca

Jurado:

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Aylas Humareda, María del Carmen

Alvarado Pérez, Karina milagros

Lima - Perú

2023





REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

| | |
|---|---|
| Archivo: | 1A - TRUJILLO JURADO CARLOS DANIEL - TÍTULO PROFESIONAL - 2023 |
| Fecha del análisis: | 08/05/2023 |
| Operador del programa informático: | Gamarra Jiménez, David Milton |
| Correo del operador del Programa informático: | dgamarra@unfv.edu.pe |
| Porcentaje: | 08 % |
| Título | EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES DE SO2 POR EMISIONES EN UN REFINERIA: CASO REFINERIA CAJAMARQUILLA SANTA MARIA DE HUACHIPA, DISTRITO DE LURIGANCHO CHOSICA – 2020-2021 |
| Asesor: | Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaqueli |
| Enlace: | https://secure.arkund.com/old/view/158993825-297389-650150#Dcg7TgNREAXRvUxcQv273e95K8gBsgBNgBOHiL0zSemof+f13F7Nxy/cjXwxAsX3vjgC98EYYQTF5loQkQTQyxik6SRTgZ5uUiRi9wUZZRTQSXV1FCL2ggZchQoUaHrNBq00KZpo50OejOMMc4Ek0wxYpoZFvO8Tq/n+fX+fh4Pj6Pm73ZKC2WpkOhpfr7Bw== |



Mg. Jhoana Juliana Rivera Murillo

Jefa de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES DE SO₂ POR EMISIONES EN
UNA REFINERIA: CASO REFINERIA CAJAMARQUILLA SANTA MARIA DE
HUACHIPA, DISTRITO DE LURIGANCHO CHOSICA – 2020-2021**

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, prevención de riesgos, hidráulica y geotécnica

**Informe de Suficiencia Profesional para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental**

Autor:

Trujillo Jurado, Carlos Daniel

Asesor

Roxana Clara Yaquely, Aparicio Ilazaca

Jurado

**Zamora Talaverano, Noe Sabino
Aylas Humareda, María Del Carmen
Alvarado Pérez, Karina milagros**

Lima – Perú

2023

Contenido

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. TRAYECTORIA DEL AUTOR | 9 |
| 1.1.1. Grado académico | 10 |
| 1.1.2. Estudios de posgrado | 10 |
| 1.1.3. Cualificación profesional | 11 |
| 1.1.4. Áreas de experiencia | 12 |
| 1.1.5. Experiencia profesional | 12 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA | 13 |
| 1.2.1. Datos de la empresa | 13 |
| 1.2.2. Antecedentes de la empresa | 14 |
| 1.2.3. Visión | 15 |
| 1.2.4. Atributos culturales | 15 |
| 1.2.5. Política Integrada | 16 |
| 1.2.6. Modelo de negocio | 18 |
| 1.3. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA | 18 |
| 1.4. ÁREAS Y FUNCIONES DESEMPEÑADAS | 18 |
| 1.4.1. Función de Desempeño | 18 |
| II. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD | 20 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN | 20 |
| 2.1.1. Antecedentes | 20 |

| | |
|---|------------|
| | 2 |
| 2.1.2. Objetivo | 22 |
| 2.1.3.1. Objetivo General. | 22 |
| 2.1.3.2. Objetivos Específicos. | 22 |
| 2.1.3. Justificación e Importancia | 22 |
| 2.2. MARCO CONCEPTUAL | 23 |
| 2.2.1. Contaminación del aire | 23 |
| 2.2.2. Dióxido de azufre | 28 |
| 2.2.3. Transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos | 31 |
| 2.2.4. Afectación a la salud | 35 |
| 2.3. EVALUACIÓN | 37 |
| 2.3.1. Instrumentos | 38 |
| 2.3.2. Procedimientos de muestreo | 41 |
| 2.3.2.1. Funcionamiento de analizador. | 41 |
| 2.3.2.2. Procedimientos de Campo | 44 |
| 2.3.2.3. Muestreo de SO ₂ | 54 |
| 2.3.2.4. Descarga de datos | 55 |
| 2.3.2.5. Interferencias | 55 |
| 2.3.2.6. Emisiones de la Refinería de Cajamarquilla | 56 |
| 2.4. MARCO TEÓRICO | 69 |
| 2.4.1. Bases teóricas. | 69 |
| 2.4.2. Marco Legal | 70 |
| 2.4.2.1. Otras fuentes de emisión | 73 |
| III. APORTES | 78 |
| 3.1. Evaluación del Monitoreo de la Calidad de Aire | 78 |
| 3.2. Evaluación de la meteorología | 88 |
| 3.2.1. Viento | 92 |
| 3.3. Reporte de condiciones meteorológicas | 97 |
| 3.4. Discusión de resultados | 99 |
| IV. CONCLUSIONES | 102 |
| V. RECOMENDACIONES | 103 |
| VI. REFERENCIAS | 104 |

VII. ANEXOS 106

ANEXO 01: Planos 106

LISTA DE TABLAS

| | |
|---------------|----|
| TABLA 1..... | 11 |
| TABLA 2..... | 71 |
| TABLA 3..... | 25 |
| TABLA 4..... | 27 |
| TABLA 5..... | 29 |
| TABLA 6..... | 36 |
| TABLA 7..... | 37 |
| TABLA 8..... | 38 |
| TABLA 9..... | 44 |
| TABLA 10..... | 50 |
| TABLA 11..... | 59 |
| TABLA 12..... | 64 |
| TABLA 13..... | 75 |
| TABLA 14..... | 79 |
| TABLA 15..... | 81 |
| TABLA 16..... | 83 |
| TABLA 17..... | 85 |
| TABLA 18..... | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1..... | 73 |
| FIGURA 2. DEPOSICIÓN SECA DE GASES..... | 30 |
| FIGURA 3..... | 32 |
| FIGURA 4..... | 39 |
| FIGURA 5..... | 39 |
| FIGURA 6..... | 40 |
| FIGURA 7..... | 40 |
| FIGURA 8..... | 41 |
| FIGURA 9..... | 44 |
| FIGURA 10..... | 45 |
| FIGURA 11..... | 45 |
| FIGURA 12..... | 46 |
| FIGURA 13..... | 46 |
| FIGURA 14..... | 47 |
| FIGURA 15..... | 47 |
| FIGURA 16..... | 48 |
| FIGURA 17..... | 48 |
| FIGURA 18..... | 49 |
| FIGURA 19..... | 49 |
| FIGURA 20..... | 51 |
| FIGURA 21..... | 52 |
| FIGURA 22..... | 52 |
| FIGURA 23..... | 53 |
| FIGURA 24..... | 58 |
| FIGURA 25..... | 61 |
| FIGURA 26..... | 65 |
| FIGURA 27..... | 66 |
| FIGURA 28..... | 74 |
| FIGURA 29..... | 76 |
| FIGURA 30..... | 80 |
| FIGURA 31..... | 82 |

| | |
|----------------|----|
| FIGURA 32..... | 84 |
| FIGURA 33..... | 86 |
| FIGURA 34..... | 88 |
| FIGURA 35..... | 90 |
| FIGURA 36..... | 90 |
| FIGURA 37..... | 93 |
| FIGURA 38..... | 93 |
| FIGURA 39..... | 94 |
| FIGURA 40..... | 96 |
| FIGURA 41..... | 98 |
| FIGURA 42..... | 99 |

RESUMEN

El presente informe, tiene como objetivo mostrar las evidencias de la formación y experiencia profesional en labores propias que corresponden a la ingeniería ambiental con la finalidad de poder obtener el grado de Ingeniero Ambiental. Se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos ambientales de calidad del aire como parte de los compromisos asumidos en los instrumentos ambientales, además de las condiciones meteorológicas que influyen en la zona de Huachipa. Los monitoreos se realizaron cumpliendo los protocolos ambientales vigentes para la calidad del aire, se verificó el correcto proceso de toma de muestras en campo, además de visualizarlos en tiempo real para una mejor gestión de la calidad del aire. Dentro de la toma de datos, se evaluó previamente parámetros meteorológicos con la finalidad de tener las mejores condiciones de dispersión de los gases emitidos por el proceso productivo, se contó con el apoyo disponible en la red. Los resultados obtenidos en la evaluación sirvieron a la empresa para corroborar que los controles ambientales aplicados para la calidad del aire, vienen cumpliendo su finalidad, ya que no se tiene excedencias en los valores obtenidos en los monitoreos ambientales. Además de identificar otras fuentes de contaminación que pueden estar generando el aumento gradual de las concentraciones en toda la cuenca atmosférica. La evaluación de los parámetros meteorológicos permitió verificar la dispersión de gases, se utilizó el preprocesador meteorológico AERMET para evaluar el comportamiento de la masa de aire dentro del área de influencia. Se recomienda realizar una caracterización de la calidad del aire a barlovento en la Refinería de Cajamarquilla debido a que en el entorno hay la presencia de industrias ladrilleras clandestinas, que no tiene ningún control ambiental.

Palabras Clave: Monitoreo ambiental, dióxido de azufre, refinería y meteorología.

ABSTRACT

This report presents the evidence of the professional formation and expertise in the work field of the environmental engineering in order to obtain the degree of Environmental Engineer. The results obtained in the environmental monitoring of air quality are presented, as part of the commitments made in the environmental instruments, in addition to the meteorological conditions that influence the area of Huachipa. The monitoring was carried out in compliance with the environmental protocols for air quality, the correct process of taking samples in the field was verified, in addition to being able to visualize them in real time for better air quality management. During data collection, meteorological parameters were previously evaluated in order to have the best conditions for the dispersion of gases emitted by the production process, for which it was supported by the data available on the network. The results obtained in the evaluation served the company to corroborate that the environmental controls applied for air quality are fulfilling their purpose, since there are no exceedances in the values obtained from the environmental monitoring, also to being able to identify other sources of contamination that may be generating the gradual increase in concentrations throughout the atmospheric basin. The correct evaluation of the meteorological parameters allows verifying the correct dispersion of gases, for which the software AERMET was used to evaluate the behavior of the air mass within the area of influence.

Keywords: Environmental monitoring, sulfur dioxide, refinery and meteorology.

I. INTRODUCCIÓN

En cumplimiento al procedimiento para la obtención del título profesional por la modalidad de suficiencia profesional, se desarrolla el presente informe cuya estructura se basa en el Anexo IV del Reglamento general de grados y títulos de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Reglamento que fue aprobado mediante Resolución R.N. N° 2900-2018-CU-UNFV el 25 de junio del 2018, el cual se enmarca en la Ley Universitaria N°30220.

El informe: EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES DE SO₂ POR EMISIONES DE LA REFINERIA CAJAMARQUILLA, EN SANTA MARIA DE HUACHIPA, DISTRITO DE LURIGANCHO CHOSICA – 2021, contiene la experiencia del autor, como Coordinador ambiental, de la empresa NEXA CAJAMARQUILLA S.A. y presenta como evidencia el resultado de los monitoreos ambientales realizados bajo su gestión, como miembro del equipo ambiental.

El autor, Carlos Daniel Trujillo Jurado, participó en diferentes proyectos de supervisión ambiental de la construcción y cierre de componentes de la refinería, además de supervisar las visitas inopinadas de supervisión por parte del estado, y la gestión de nuevos instrumentos ambientales para la refinería, entre otros.

1.1. Trayectoria del autor

El suscrito, TRUJILLO JURADO CARLOS DANIEL en adelante el autor, es Bachiller en Ingeniería Ambiental de la UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL (UNFV). Cuenta con más de 12 años de experiencia en instituciones públicas y privadas, en donde se especializó en Gestión Ambiental; actualmente trabaja, desde noviembre del 2017 en la empresa Nexa Cajamarquilla.

La experiencia del autor en gestión ambiental ha permitido lograr la recertificación en NTP ISO 14001:2015; certificación otorgada por la empresa certificadora BSI en el 2022; teniendo como resultado cero en NO CONFORMIDADES MAYORES; obteniéndose el mismo resultado durante las auditorias de seguimiento al sistema de gestión ambiental de los años 2020 y 2021.

Así mismo, cuenta con experiencia en la gestión de las emisiones atmosféricas, evaluando el comportamiento de la dispersión de los gases por emisiones de SO₂ en chimeneas, además de la gestión ambiental en diferentes procesos asociados a la producción de zinc metálico.

A continuación, se muestra una breve descripción sobre el grado académico, estudios de postgrado y cualificación profesional del autor.

1.1.1. Grado académico

El 23 de julio del 2010 el Consejo de Facultad, de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE), otorgó el grado de Bachiller en Ingeniería en Ingeniería Ambiental. Grado conferido por el Consejo Universitario de la UNFV, el 23 de julio del 2016. (ver Anexo 2 Estudios y experiencia profesional).

1.1.2. Estudios de posgrado

Estudios de Master en QUIMICA AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE realizado en el año 2020,-2021, en la Universidad: de Alicante en España, cursando actualmente el último curso del master en la Modalidad Presencial en la ciudad de Alicante.

Estudios de Maestría en Gestión y Control de la contaminación realizado en el año 2014-2015, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

1.1.3. Cualificación profesional

El autor, cuenta con una cualificación profesional desde el año 2010, que suman un total de 133 horas lectivas. A continuación, se muestra el detalle de cada capacitación que llevó el Autor desde el año 2010 a la actualidad. Los respectivos diplomas que demuestran dichos estudios, se adjuntan en el Anexo 2 Estudios y experiencia profesional. (Tabla 1)

Tabla 1.
Detalles de capacitaciones

| Año | Título | Organizado | Horas Lectivas |
|---------------------------------|---|---------------------|-----------------------|
| 2022 | Curso virtual Planefa Tercera Edición | OEFA | 20 |
| 2022 | Calidad del Aire y Modelación Atmosférico | ACODAL | 18 |
| 2021 | Capacitación en Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) | PUCP | 18 |
| 2021 | Interpretación y formación de Auditores interno de la norma ISO 9001:2015; 14001:2015 | Bureau Veritas | 32 |
| 2015 | Curso internacional de Hidroquímica Ambiental | GEOSCIENCE | 30 |
| 2014 | Aermod Air Dispersion modeling | Lakes Environmental | 8 |
| 2014 | Manejo, uso y metodología de instrumentos de medición de ruido y vibraciones | HIGSEG | 3 |
| 2014 | Curso Internacional de técnicas y métodos de evaluación ambiental y ocupacional | HIGSEG | 8 |
| 2010 | Arc Gis 9.3 nivel básico | UNALM | 16 |
| Total de Horas Electivas | | | 153 |

Fuente: Cursos realizados durante experiencia profesional.

1.1.4. Áreas de experiencia

El autor, con toda la experiencia adquirida puede desempeñarse en cualquiera de las siguientes áreas:

- Monitoreo ambiental
- Modelamiento atmosférico
- Instrumentos ambientales
- Gestión Ambiental y Sostenibilidad.
- Gestión de transporte de cargas peligrosas
- Evaluación de riesgos de proyectos y operaciones.
- Sistemas Integrados de Gestión (Calidad; Seguridad y salud en el trabajo).
- Supervisión ambiental de obra

1.1.5. Experiencia profesional

La experiencia profesional del autor, inició en enero del 2008, en la empresa CESEL S.A. desempeñándose en el área de asuntos ambientales, como parte del área de monitoreo ambiental e instrumentos ambientales, participando en diversos estudios para el rubro minero y energético. Además, brindó servicios al área de Hidrología, realizando las labores de supervisión ambiental en proyectos ubicados en Ecuador.

Desde febrero a junio del 2012, prestó servicios para la empresa AMEC S.A, donde se realizaron servicios de identificación de pasivos ambientales e identificación de cuerpos de agua en unidades mineras.

A partir de febrero de 2014, realice trabajos para la empresa AUSENCO PERU SAC, dando soporte ambiental para el área de asuntos ambientales mineros, estando a cargos de los

monitoreos ambientales y manejo de equipos para la sede de Lima (Perú) y Salta (Argentina).
A cargo de la línea base ambiental de instrumentos ambientales para el sector minero.

A partir de noviembre del 2017, fecha desde la que viene combinando sus conocimientos en ingeniería ambiental con la gestión Ambiental y otras áreas ocupando actualmente el cargo de Coordinador ambiental en la Nexa Cajamarquilla S.A. (ver Anexo 2 Estudios y experiencia profesional).

1.2. Descripción de la empresa

1.2.1. Datos de la empresa

- RUC: 20261677955
- Razón Social: NEXA RESOURCES CAJAMARQUILLA S.A.
- Página Web: <https://www.nexaresources.com/es>
- Tipo Empresa: Sociedad Anónima
- Condición: Activo
- Fecha Inicio Actividades: 01 / Febrero / 1995
- Actividades Comerciales:
- Fab. Productos de Met. Preciosos.
- CIU: 27203
- Dirección Legal: Car. Car. Central Nro. 9.5 Cajamarquilla (Carr. Central Km.9.5 Desvío a Huachipa)
- Distrito / Ciudad: Lurigancho
- Departamento: Lima, Perú

1.2.2. Antecedentes de la empresa

La Refinería de Cajamarquilla es una planta de alta tecnología que produce zinc refinado con 99,995% de pureza, a partir de concentrados de zinc provenientes de diferentes compañías tales como:

- Volcan Compañía Minera,
- Compañía Minera Chungar,
- Pan American Silver – Huarón,
- Compañía Minera Atacocha,
- Nexa Resources Peru,
- Nexa Resources El Porvenir, y
- Trafigura Metales Básicos.

La Refinería de Cajamarquilla está ubicada en el valle de la quebrada Jicamarca, en el distrito de Lurigancho – Chosica, perteneciente a la provincia de Lima. Las instalaciones de la refinería ocupan un área aproximada de 300 hectáreas.

En 1977 se inició la construcción de la Refinería de Cajamarquilla el Estado Peruano y fue diseñada originalmente para producir 101 500 toneladas métricas anuales (TMA) de zinc refinado. En el año 1981 inició sus operaciones a cargo de la empresa estatal Minero Perú S.A.

A partir del año 2001 la refinería desarrolló la primera ampliación de su planta llevando la producción a 240 000 TMA hasta el año 2006, en donde la refinería desarrolló su segunda ampliación, obteniendo una producción de zinc refinado de 320 000 TMA (320k). Para este propósito se efectuó la instalación de nuevas edificaciones y la modificación de las instalaciones previamente aprobadas para permitir el aumento de la producción.

1.2.3. Visión

Sostenibilidad tomada en serio, confirmada por la sociedad y por el mercado. Por tercer año hemos sido reconocidos como empresa referencia en sostenibilidad por la Guía Examen de Sostenibilidad. Estamos en el camino correcto, explotando hoy con responsabilidad y yendo más allá en las metas para el futuro.

1.2.4. Atributos culturales

Los valores permean todas las acciones, decisiones y relaciones de Nexa con sus públicos, representan nuestra forma de ser y de actuar. Forman la sigla SEREU.

Solidez

Buscar crecimiento sostenible con generación de valor

Ética

Actuar de forma responsable y transparente

Respeto

Respeto a las personas y disposición para aprender

Emprendimiento

Crecer con coraje para hacer, innovar e invertir

Unión

El todo es más fuerte

Estamos juntos en el objetivo de construir el mundo de nuestros sueños. Estamos aquí para construir una compañía para el futuro. Queremos ser jugadores importantes convirtiendo en realidad estos sueños. Somos impulsados por la alegría en las conquistas y realizaciones y estamos convencidos que podemos hacer que Nexa sea cada vez mejor. No desistimos de lo

que creemos, nuestras Creencias complementan nuestra identidad, direccionan comportamientos y definen nuestro modelo de gestión y actividad.

1.2.5. Política Integrada

Nexa Resources Cajamarquilla S.A. a fin de establecer su compromiso para satisfacer los requisitos del cliente, preservar el ambiente, la seguridad y salud ocupacional de sus trabajadores y mejorar continuamente la eficacia de su sistema de gestión, ha establecido la Política, la cual se encuentra documentada en el PGU-CJM-GEN-CYG-012-ES “Política de Gestión Integrada”.

En base a la Política de Gestión Integrada, Nexa Resources Cajamarquilla S.A. ha establecido objetivos estratégicos acordes al plan estratégico.

La Política de Gestión Integrada es comunicada y difundida a todos los trabajadores y personal tercero de Nexa-CJM, a través del:

- Manual del Sistema de Gestión
- Charla de Inducción a nuevos empleados (propios y terceros).
- Charla de Inducción de visitantes.
- Charla de Nuestro Día a Día (NDAD).

Además, dentro de los compromisos que tiene Nexa Cajamarquilla, la unidad cuenta con instrumentos ambientales aprobados.

La Refinería de Cajamarquilla cuenta con un Plan de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) aprobado en el año 1997. Luego, la Refinería Cajamarquilla desarrolló el Estudio de Impacto Ambiental (EIA, 1997) para ampliar la capacidad de la planta de beneficio Cajamarquilla a 230 000 TM por año. Esta ampliación significó un incremento mayor al 100% de la producción de ese entonces.

A continuación, se desarrolló la Actualización (Modificación) del EIA (2001) para la ampliación de la refinería. Esta Modificación de EIA consideró el incremento de la capacidad

de tratamiento de la planta de 230 000 a 240 000 TM por año de zinc refinado y el cambio del proceso de goetita por el de jarosita como método de separación y eliminación de los contenidos de hierro en los concentrados de zinc.

La Segunda Modificación del EIA (2007) buscó ampliar la capacidad de la refinería hasta 320 000 TM por año, considerando la instalación de nuevas edificaciones (planta de tostación, planta de ácido sulfúrico y casa de celdas electrolíticas) y la modificación de las instalaciones existentes (plantas de lixiviación y purificación).

La Tercera Modificación del EIA (2011) tuvo como objetivo la implementación y operación de una planta de procesamiento y fabricación de polvo de zinc para la exportación, con una capacidad de procesamiento de 8 000 toneladas por año. Esta MEIA se concentró exclusivamente en un componente particular y no en toda la Refinería.

La Cuarta, y última hasta la fecha, Modificación del EIA (2012) propuso la construcción y operación del depósito de residuos Poza N° 6, al interior de las instalaciones operativas de la Refinería Cajamarquilla. Esta MEIA se concentró exclusivamente en un componente particular y no en toda la Refinería.

Adicionalmente, la Refinería de Cajamarquilla cuenta con cinco (05) Informes Técnicos Sustentatorios (ITS), los cuales adicionan y actualizan instalaciones principales y auxiliares para optimizar el funcionamiento de la Refinería. El último ITS (Quinto ITS) ha sido aprobado en noviembre de 2019 por el SENACE e involucró el recrecimiento del depósito de lodos neutros.

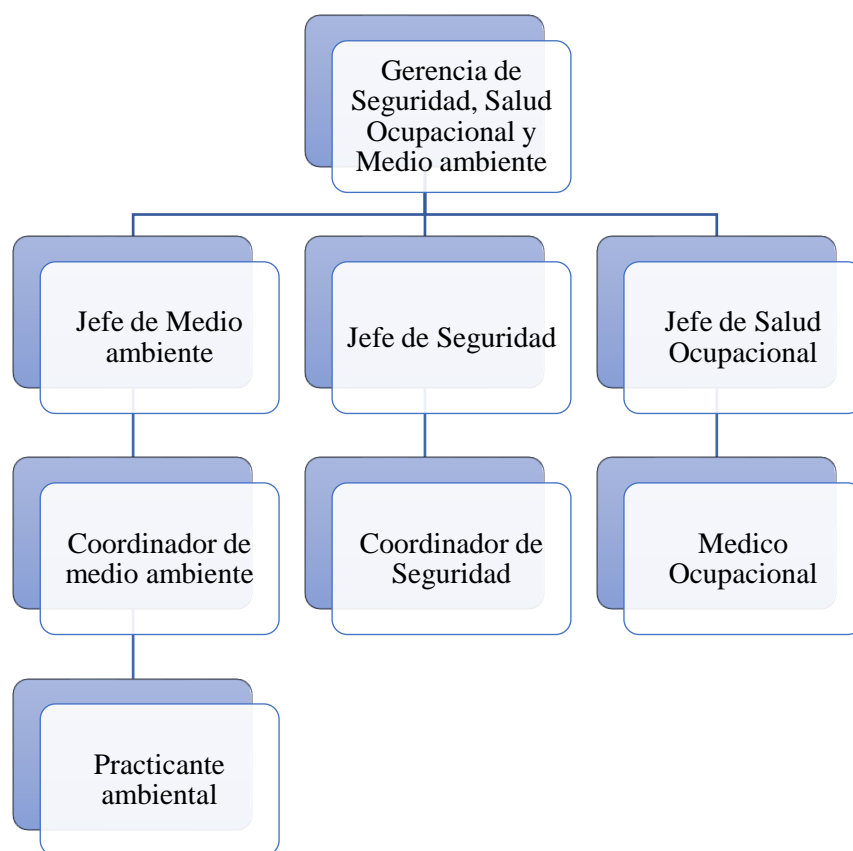
Finalmente, cabe mencionar que la Refinería de Cajamarquilla también presentó una Actualización de EIA (AEIA) ante la DGAAM el MINEM en febrero de 2015, de acuerdo con la normativa vigente, la cual se encuentra aún en proceso de evaluación.

La elaboración de este reporte fue liderada por el autor del presente informe.

1.2.6. Modelo de negocio

Los recursos clave que utiliza la Nexa Cajamarquilla lo utiliza en la “Fabricación de Zinc Refinado en barras y jumbos y Aleaciones de Zinc en jumbos” para asegurar y lograr consistentemente operaciones, seguras y ambientalmente responsables a largo plazo:

1.3. Organigrama de la empresa



1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El autor, inició su trabajo en Nexa Cajamarquilla desde el 15 de noviembre del 2017; ocupando el puesto de Coordinador de medio ambiente.

1.4.1. Función de Desempeño

Las funciones del autor son:

- Auditorías internas y externas de Certificación en NORMAS ISO 14001:2015 e ISO 9901:2015.
- Dar soporte a los diferentes procesos en la actualización de procedimiento, instructivos y otros relacionados con el sistema integrado de gestión.
- Gestión de Indicadores del sistema integrado de gestión.
- Verificar el cumplimiento del Plan de Manejo ambiental.
- Reporte de sostenibilidad al corporativo sobre los GEI
- Encargado de la gestión de transporte de cargas peligrosas.
- Capacitación a socios estratégicos en la gestión ambiental de la unidad
- Elaboración de Procedimientos, Instructivos, Formatos, Planes y Programas para la gestión de emisiones atmosféricas
- Revisión y Actualización de Matrices IPERC e Matrices de Identificación de Aspectos e Impactos ambientales de la Organización.
- Realizar inspecciones en Ruta y sedes operativas de la organización
- Verificar el cumplimiento de las actividades asignadas del personal a cargo
- Verificación y evaluación de Matriz de requisitos legales
- Modelamiento atmosférico de SO₂ de la unidad
- Gestión y manejo de equipos ambientales
- Seguimiento a supervisiones por parte del estado.
- Línea base ambiental de instrumentos ambientales

II. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Evaluación de la calidad de las concentraciones de SO₂ por emisiones en un refinería: caso refinería Cajamarquilla Santa maría de Huachipa, distrito de Lurigancho Chosica – 2020-2021.

Esta sección presenta los procedimientos y resultados de la evaluación de la calidad de las concentraciones de SO₂ en el aire del distrito de Huachipa. Los datos corresponden a los puntos de monitoreo establecidos en los instrumentos de gestión ambiental.

El SO₂ es un gas que se emite al ambiente como residuo del proceso productivo para la fabricación de láminas de zinc como producto principal y de ácido sulfúrico como sub producto. Antes de emitir el SO₂ al ambiente, el gas pasa por varios procesos que tienen la finalidad de poder producir ácido sulfúrico al 98.5%, eliminando impurezas como partículas y vapores para una correcta producción. Al finalizar el proceso el gas pasa por un lavador que disminuye las concentraciones de ingreso de 500 ppm a 100 ppm.

2.1. Introducción

2.1.1. Antecedentes

La contaminación del aire es un problema muy importante que afecta a los ciudadanos de todos los países. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz dióxido de azufre y vapor de agua.

Otro autor indica sobre la contaminación lo siguiente:

Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados. (Wrak, 1998, pp. 17)

Existen diferentes estudios nacionales e internacionales, que relacionan la incidencia de los contaminantes atmosféricos en la salud de las personas. Sobre este destaca los aportes de Antonio (2003) que hacen un estudio en Mexicali es la tercera ciudad más contaminada de California y la segunda por partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10), los estándares anuales permitidos ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) son sobrepasados continuamente. Su contraparte estadounidense el Valle Imperial, forma parte de la misma zona geográfica y presenta niveles semejantes, aunque superiores. Asociado al PM10, Imperial reporta el mayor índice de asma infantil de California, igualmente Mexicali en Baja California.

Según la OMS, (2021) “la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón” (p.1). Esto hace referencia a la relación que se tiene entre la contaminación y la afectación a la población.

Caycho (2018), diseño y elabora un plan de alerta ambiental preventiva de calidad de aire para los riesgos a la salud causadas por contaminación atmosférica en la ciudad de la Oroya. El estudio identifica como fuentes de aporte de SO_2 al ambiente, las fuentes estacionarias (Refinería DOE RUN) y fuentes móviles (carretera central), como principales aportantes.

Diaz (2000), tuvo como objetivo cuantificar los efectos de cada uno de los contaminantes sobre la concentración foliar de pigmentos fotosintéticos, particularmente de la clorofila a, b, carotenoides totales y sus proporciones relativas. La información que se obtuvo dentro de la investigación dio como conclusión que el SO₂ en cualquier concentración puede generar afectación en la vegetación, pero se indica que debemos tener cuidado en interpretaciones y extrapolaciones inadecuadas, ya que este estudio se realizó en ciertas condiciones que difícilmente puede ser recreado.

2.1.2. Objetivo

2.1.3.1. Objetivo General.

Evaluar el nivel de las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) por emisiones de una refinería, sobre la calidad del aire caso: Refinería Cajamarquilla Santa María de Huachipa, distrito de Lurigancho Chosica 2020-2021

2.1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las concentraciones de dióxido de azufre en Santa María de Huachipa.
- Evaluar la variación de las concentraciones de dióxido azufre, debido a factores climatológicos.
- Evaluar la variación de las concentraciones de dióxido de azufre, debido a las diferentes zonas donde se realizará el monitoreo en Santa María de Huachipa.

2.1.3. Justificación e Importancia

La contaminación del aire es un problema muy importante que afecta a los ciudadanos de todos los países, ya sea que estén en un estado de desarrollo o subdesarrollo. Existen diferentes estudios nacionales e internacionales, que relacionan la incidencia de los contaminantes atmosféricos en la salud de las personas, dando a conocer las diversas

asociaciones entre material contaminado y las enfermedades respiratorias agudas. Sin embargo, existen pocas investigaciones de la calidad de aire en el distrito de Santa María de Huachipa, que es la zona de influencia directa de la Refinería, por tanto, es importante realizar estudios en zonas específicas con alto índice de crecimiento demográfico.

Los resultados de este trabajo sirvieron para identificar los sectores de la población que se encuentran expuestos a contaminantes atmosféricos con posibles repercusiones negativas en su salud y conocer la calidad del aire en Santa María de Huachipa, considerando a la refinería como la principal fuente fija en la zona que genera y emite al aire.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire al ser cualquier alteración de las concentraciones de los componentes químicos de la atmosfera, se ha convertido en nuestra forma de vida actual, durante las actividades comunes que se realizan diariamente, se tiene contribución y/o aportes a las concentraciones normales de gases y partículas que tiene la atmosfera, desde las construcción y desarrollo de viviendas, el movilizarse de un lugar a otro, generar energía, entre otras cosas. A partir de eso el aire según Wrak (1998) “es considerado de dominio público, tal suposición es necesaria si se ha de tratar la contaminación del aire como un problema público, concerniente no sólo a quienes causan la contaminación, sino también a quienes pudieran sufrir las consecuencias”. (pp. 21)

Se puede definir la contaminación del aire de varias formas, para Wrak (1998) “presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes ya sea gases o partículas o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración a corto o largo plazo puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad” (pp. 22), también puede considerarse

como “la impurificación de la atmosfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción superior o aquella”. (Orozco, 2002, pp 325)

La contaminación del aire es una “amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana, otros aspectos del bienestar humano y el ambiente” (Lopez et al, 2007, pp. 8). La exposición a ella puede provocar o agravar afecciones respiratorias y cardiacas, entre otras, aun al tener una baja concentración de contaminantes se pueden observar la relación de algunos contaminantes y la morbilidad en pacientes que ingresan a hospitales (Gigosos, 2005, pp. 7), más aún Labaca (2005) indica “Niveles habituales de contaminación atmosférica en el municipio de Madrid están asociados a un incremento a corto plazo de la mortalidad y morbilidad respiratorias, así como al aumento de la demanda por asma en urgencias hospitalarias” (pp. 23). Considerando esto la contaminación puede ser especialmente dañina para un sector de la población que tienen enfermedades pulmonares o cardiacas crónicas, mujeres embarazadas, ancianos y niños.

La contaminación representa un riesgo para la población pobre de bajos recursos, pues trabajan en las calles cerca a zonas de alto tránsito vehicular y vive en condiciones precarias, próximo a industrias esto debido al aumento población y busca de más zonas para vivir. Los problemas de salud causados por este tipo de contaminación pueden verse influidos por la magnitud, alcance y duración de la exposición, la edad y la susceptibilidad de cada persona, entre otros factores. (Ambiente, 2005). Las personas que trabajan en las plazas de lima vienen siendo expuestas a concentraciones de SO₂ en un promedio diurno de 25,591 ug/m³ y nocturno de 44,652 ug/m³ (Sotomayor&Torres, 2010, pp. 82).

Debemos analizar que para poder determinar si un contaminante presenta concentraciones diferentes a las normales, debemos tener y/o especificar la composición del aire atmosférico seco, luego de ello evaluar cual es la concentración de dichos materiales que en ciertas concentraciones pueden afectar la salud de las personas, animales, la vegetación y los materiales.

La Tabla 2 recoge la proporción en la que se hallan los distintos gases que componen el aire atmosférico en las proximidades del suelo, así como su tiempo de permanencia:

Tabla 2
Composición química del aire en las proximidades del suelo

| | Gas | | % en volumen | Tiempo de permanencia aproximado |
|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Permanentes | Nitrógeno | N ₂ | 78.094 | 10 ⁶ años |
| | Oxígeno | O ₂ | 20.946 | 5 x 10 ³ años |
| | Argón | Ar | 0.934 | - |
| | Neón | Ne | 1.8 x 10 ⁻³ | - |
| | Helio | He | 5.2 x 10 ⁻³ | 10 ⁷ años |
| | Criptón | Kr | 1.1 x 10 ⁻³ | - |
| | Xenón | Xe | 8.7 x 10 ⁻⁶ | - |
| Variables | Dióxido de carbono | CO ₂ | 0.03 | 15 años |
| | Metano | CH ₄ | 1.4 x 10 ⁻⁴ | 5 años |
| | Hidrógeno | H ₂ | 5 x 10 ⁻³ | 7 años |
| | Óxido nitroso | N ₂ O | 5 x 10 ⁻³ | 8 años |
| | Ozono | O ₃ | 2 x 10 ⁻⁴ | 2 años |
| Muy Variables | Agua | H ₂ O | (0.4 - 400) x 10 ⁻² | 10 días |
| | Monóxido de carbono | CO | 10 ⁻⁴ | 180 días |
| | Dióxido de nitrógeno | NO ₂ | 10 ⁻⁶ | 6 días |
| | Amoniaco | NH ₃ | (1 - 10) x 10 ⁻⁷ | 7 días |
| | Anhídrido sulfuroso | SO ₂ | 0.2 x 10 ⁻⁷ | 3 días |
| | Sulfuro de hidrógeno | SH ₂ | 0.2 x 10 ⁻⁷ | 2 días |

Nota: Muestras las concentraciones de los gases en la atmosfera. Contaminación ambiental (Orozco, 2002)

Las actividades humanas tiene efecto perjudicial en la calidad del aire, al aumentar la población las cantidades emitidas de contaminantes están aumentando y puesto que la cantidad total de aire, tierra y agua en el planeta es invariable, la porción disponible de cada uno de los

recursos naturales para cada persona está disminuyendo; por lo que la contaminación del aire es hoy un elemento de dominio público; es decir, la contaminación interesa tanto a los responsables como a los que podrían sufrir las consecuencias. (Senamhi, s.f., 2010).

Se debe tener en cuenta que el término contaminación habitualmente, suele relacionarse para referirse a lo ocasionado por fuentes de origen antropogénica, aunque no debemos olvidar considerar episodios de contaminación ocasionados de forma natural.

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas o artificiales. Esta última se refiere a las actividades humanas. Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos.

Fuentes de origen natural, Son resultado de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones producidas por los volcanes, océanos y la erosión del suelo.

Fuente de origen antropogénica, son las que contaminan a causa de actividades humanas. Comprende las fuentes fijas y móviles.

- Fuente móviles, Se consideran los vehículos automotores que circulan por carretera tales automóviles camiones, autobuses y motocicletas.
- Fuentes fijas, Es toda instalación establecida en un solo lugar y que tiene como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Incluyen a los

sectores: químico, petrolero, pinturas y tintas, de automóviles, de papel, del acero, del vidrio, de la generación de la electricidad, del cemento, etc.

Se debe mencionar que los contaminantes una vez emitidos a la atmósfera pueden sufrir transformaciones químicas que alteren su naturaleza. (Orozco, 2002, pp. 333).

Los contaminantes del aire pueden ser liberados directamente a la atmósfera (emisiones primarias) o pueden formarse como resultado de la interacción química que involucra sustancias precursoras.

Los primarios son sustancias vertidas directamente a la atmósfera, entre los que se encuentran los aerosoles o partículas, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos. Los contaminantes secundarios son sustancias que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera.

En la Tabla 3 se muestra la composición de los gases.

Tabla 3.
Composición de los gases

| COMPONENTES | FÓRMULA QUÍMICA | VOLUMEN % (AIRE SECO) |
|---------------------|------------------|-----------------------|
| Nitrógeno | N ₂ | 78.08 |
| Oxígeno | O ₂ | 20.95 |
| Argón | Ar | 0.93 |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 410 ppmv |
| Neón | Ne | 18.2 ppmv |
| Helio | He | 5.24 ppmv |
| Metano | CH ₄ | 2 ppmv |
| Criptón | kr | 1.1 ppmv |
| Hidrógeno | H ₂ | 0.5 ppmv |
| Óxido Nitroso | N ₂ O | 0.3 ppmv |
| Xenón | Xe | 0.08 ppmv |
| Monóxido de Carbono | CO | 0.05 - 0.2 ppmv |
| Ozono | O ₃ | 0.02 - 0.03 ppmv |

Nota: Introducción a la Ingeniería Ambiental. (VESILIND, 2010)

2.2.2. Dióxido de azufre

Dentro de los contaminantes primarios tenemos al dióxido de azufre (SO₂), un gas incoloro, no flamable y no explosivo que puede ser detectado mediante el gusto a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el gas tiene olor acre e irritante. El dióxido de azufre se convierte parcialmente a trióxido de azufre y luego a ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido sulfúrico con la humedad del aire. Wraak (1998) menciona que “Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire” (pp. 46). Orozco (2002) indica que “Debido al aspecto de niebla que adquiere el aire en estas circunstancias, esta contaminación se conoce con el nombre de smog húmedo. (pp. 356).

Orozco (2002) menciona que “Las emisiones naturales constituyen poco más del 50% de las emisiones totales de SO₂. Proviene principalmente de la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H₂S) originado por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanos, océanos, fuentes biológicas terrestre” (pp. 356). La principal fuente de SO₂ que se tiene en Perú, son los volcanes para lo cual se tiene una red de monitoreo de SO₂ en base a escaneo automático DOA y envío de la información por telemetría (Masías&Apaza, 2018, pp. 109).

En cuanto a emisiones antropogénicas, debemos señalar que están originadas fundamentalmente por la combustión de carburantes que contienen azufre, siendo los principales puntos emisores los focos de combustión estacionaria, otro grupo importante son las contribuciones del parque automotor.

Además, se tiene otros focos importantes que aportan SO₂ y material particulado al ambiente que se deben analizar, como las emisiones derivadas de las industrias que tienen como fuente para su generación de energía, el uso de combustibles altamente contaminantes que tienen dentro de su composición al azufre. Las industrias que predominan dentro la zona de Huachipa son las ladrilleras, muchas de estas son clandestinas y sin controles ambientales para sus emisiones. Se tienen varios estudios que evalúan la repercusión de ello, afectando a la población causándoles enfermedades bronco-respiratorias, enfermedades estomacales y visuales. (Iparraguirre, 2018, pp. 72).

Uno de los problemas más graves relacionados los derivados de las transformaciones de los óxidos de azufre es la lluvia ácida. El pH del agua de lluvia está en un rango de 5.5 a 5.7, menor al pH cercano a 7 que presentan las gotas de agua formadas por condensación en la atmosfera. La lluvia ácida tiene el pH un poco más ácido que la lluvia “natural”, llegando en un rango de 4-5 e incluso un poco más bajo. El Instituto de Hidrología de Colombia, presenta una clasificación que da una visión de cómo se puede evaluar el agua de lluvia, esto se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4
Clasificación de pH de la lluvia

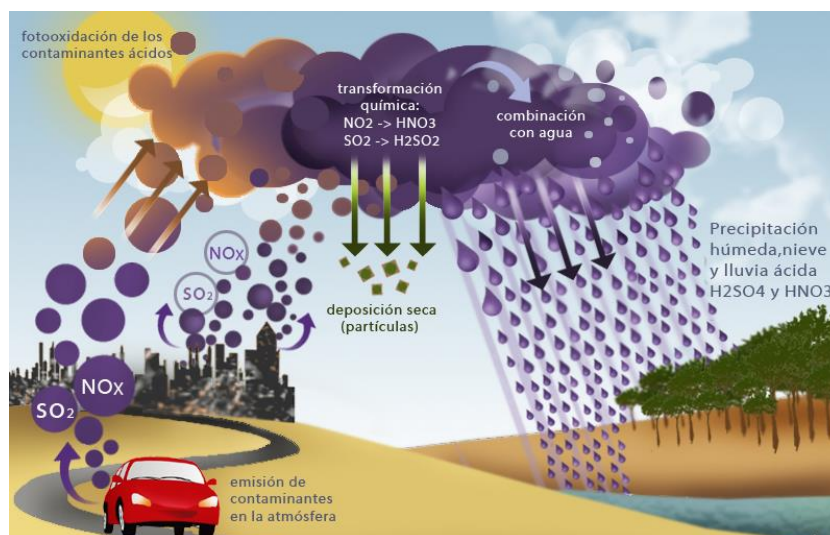
| pH | Clasificación de la lluvia |
|----------------|-----------------------------------|
| pH > 5.6 | Lluvia no ácida |
| 4.7 < pH < 5.6 | Lluvia ligeramente ácida |
| 4.3 < pH < 4.7 | Lluvia medianamente ácida |
| pH < 4.3 | Lluvia fuertemente ácida |

Nota: Muestra los valores de pH en la lluvia. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia

Se debe considerar que la lluvia ácida no solo se da solo por las emisiones de SO_2 al ambiente, también aportan las emisiones otros gases como los óxidos de nitrógeno y la presencia de dióxido de carbono, los cuales se ionizan parcialmente para liberar un ion hidrógeno, con la consecuencia reducción en el pH. (Bard, 2004, pp. 105). Más aún dentro de la evaluación se concluye que el principal promotor de la lluvia ácida es el NO_x antes que el SO_2 (García G.1, 2006, pp. 3).

Dentro de la atmosfera tienen lugar varios procesos de transformación de los gases; el bióxido de azufre gaseoso componente del ciclo del azufre, y los óxidos de nitrógeno del ciclo del nitrógeno, se combinan en la atmósfera, así como los óxidos de carbono. La lluvia ácida tiene como acelerador de las reacciones a la luz solar. Los óxidos de azufre se convierten en ácidos sulfúricos (H_2SO_4), los óxidos de nitrógeno en ácido nítrico (HNO_3) y el bióxido de carbono en ácido carbónico (H_2CO_3). En las reacciones de transformación de los gases un parte va a la tierra como finas partículas (sulfatos y nitratos) y otra como deposición seca (Figura 1).

Figura 1.
Deposición seca de gases



Fuente: Ciclo de deposición del SO_2 , tomado de la https://cidta.usal.es/contamin_agua/www1/www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10/CAtm1/340DepAc.htm

Para le EPA (2021), se tienen estas fuentes de gases que aportan a la formación de lluvia ácida.

- Quema de combustibles fósiles para generar electricidad. Dos tercios del SO₂ y un cuarto del NO_x en la atmósfera provienen de generadores de energía eléctrica.
- Vehículos y equipo pesado.
- Manufactura, refinerías de petróleo y otras industrias.

Entre los efectos adversos de la lluvia ácida que son muy preocupantes, está la acidificación de las fuentes de agua, en la zona de estudio no puede ser evaluada debido a la falta de cuerpos de agua de caudal permanente. También se tiene la afectación a los ecosistemas, aumentando la acidez de los suelos, cambiando a la composición química del mismo, lixiviando los nutrientes importantes para las plantas como el calcio, el magnesio y el potasio. (Orozco, 2002, pp. 358).

2.2.3. Transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos

Todo proceso de transporte y difusión de gases o partículas, depende de varios factores, ya sea por efecto de las condiciones climáticas presentes en la zona de estudio, como por las condiciones del gas al momento de salir de la chimenea. Las condiciones climáticas están condicionadas por la velocidad del viento, temperatura del aire exterior, estratificación atmosférica y características del terreno.

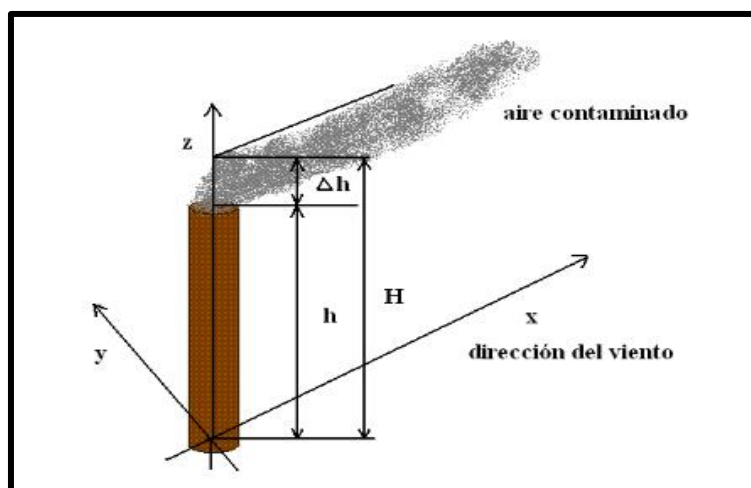
Las emisiones pueden ser vertidas al ambiente mediante ductos o chimeneas, que pueden estar a nivel del suelo o presentar una elevación. Las chimeneas deben estar diseñadas con la finalidad de generar la menor afectación a cuerpos receptores cercanos, “pues el problema no termina con la eliminación al ambiente, sino que estos pueden depositar de sobre

plantas, suelo o agua” (Alemany, 2004, pp. 6). Las características de las chimeneas pueden darse por la altura geométrica de la chimenea, velocidad y temperatura de salida del gas, sección recta de la boca de la salida.

Los gases emitidos presentan una velocidad y una temperatura de salida, que van a determinar la sobre elevación que tendrá el penacho (Figura 2) y esto a su vez la distancia de deposición de estos gases o partículas, además de la interacción que tengan entre ellos o con otros componentes encontrados en la atmosfera.

Figura 2.

Sobreelevación del penacho de humo de una chimenea industrial



Fuente: Cálculo de la sobre elevación de las emisiones. (Alemany, 2004, pp. 128)

La velocidad del viento condiciona la rapidez con la cual el contaminante se separa de la fuente que lo ha originado, mientras que la turbulencia atmosférica posibilita los efectos de mezcla y dispersión del contaminante; a mayor turbulencia, mayores grados de dilución va alcanzado el contaminante que se aleja de la fuente (Alemany, 2004, pp. 14), por eso dentro de la evaluación que se tiene en la investigación a las estaciones de monitoreo ubicada en la refinería, otras fuentes de contaminación pueden estar generando cambio en las concentraciones de SO_2 ubicadas a sotavento, dificultando una correcta evaluación o puede estar siendo atribuidas a la refinería.

La refinería cuenta con una particularidad, se ubica al pie del cerro La Parra, donde la llanura es un valle estrecho bastante angosto, de dirección Noreste, con ancho aproximado de 2 Km. y una pendiente promedio de 1:50. El cerro La Parra tiene dos cimas, una de 1 252 m de altura y la otra de 837 m. Inmediatamente al Norte de la refinería existe una estribación del cerro La Parra, conocida como Cerro Grande, la cual alcanza una altura de 711 msnm. Al Noroeste, frente a la refinería y cruzando la quebrada Jicamarca, se eleva el cerro Camote con una altura de 1 284 m. Las condiciones topográficas alteran la correcta dispersión de los gases, siendo en algunos momentos un obstáculo para la correcta dispersión de los gases.

Los modelos más utilizados en la investigación de la química atmosférica se clasifican en: modelos de caja (box models) y modelos de paquetes (puff models), las aplicaciones de estos modelos se basan en enfoques Eulerianos y Lagrangianos.

Los paquetes de aire o “puffs”, dentro de la metodología consideran la variación temporal de las emisiones, al representar la emisión de cada fuente puntual como un conjunto de paquetes de contaminantes, los cuales se transportan por el campo de vientos, luego se expanden al mezclarse con el aire circundante, teniendo internamente reacciones químicas importantes.

El programa CALPUFF es un modelo usado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, “simula los efectos de las condiciones meteorológicas variables en el tiempo y en el espacio sobre el transporte del contaminante”. (Arregoces, 2018, pp. 15). Calpuff es un modelo Lagrangiano de nubes aisladas que simula el efecto de las condiciones meteorológicas no homogéneas. Considera las irregularidades del terreno sobre el cual se presenta la dispersión e incluye la posibilidad de modelar la dispersión de contaminantes primarios y secundarios.

El modelo meteorológico CALMET combina las observaciones superficiales y en altura (radiosondeo y/o modelo meteorológico) disponibles en la zona de estudio, generando así un campo de vientos tridimensional requerido para simular la dispersión y deposición de los contaminantes emitidos en la zona del proyecto.

Calmet, es un modelo meteorológico que incluye un módulo de diagnóstico de campos de viento, que realiza un análisis objetivo y parametrizado de flujos en pendiente, efectos cinemáticos del terreno, efectos de bloqueo del terreno, mediante un procedimiento de minimización por divergencia; e incluye un módulo micrometeorológico, basados en el balance de energía superficial, para simular las capas límites superficiales de vientos a baja altura sobre el suelo.

AERMET corre en tres etapas, la primera etapa es la extracción y evaluación de calidad en la cual la información de meteorología es extraída y una evaluación de calidad es realizada para encontrar fallos o ausencias de datos. En la segunda etapa, los archivos de la primera etapa son combinados en un solo archivo. Finalmente, en la tercera etapa, se crean los archivos de entrada para el modelo.

El CALMET para un correcto modelado necesita la siguiente información meteorológica:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Temperatura del bulbo seco
- Nubosidad
- Datos de radiosondeos

El programa considera las condiciones del terreno para la generación de los campos de viento, este punto es importante para la refinería debido a que, frente a las chimeneas de gases, se encuentra el cerro la Parra por un desnivel de 250 m a nivel del suelo, siendo una barrera para la dispersión de los gases.

2.2.4. Afectación a la salud

La exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos a la salud. La contaminación del aire puede aumentar el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón. Tanto la exposición a corto como a largo plazo a los contaminantes del aire se ha asociado con impactos adversos en la salud. Los impactos más severos afectan a las personas que ya están enfermas. Los niños, los ancianos y los pobres son más susceptibles. Los contaminantes más nocivos para la salud, estrechamente asociados con la mortalidad prematura excesiva, son partículas finas PM 2,5 que penetran profundamente en los conductos pulmonares (OMS, 2016)

Para el EPA, las exposiciones a corto plazo pueden dañar el sistema respiratorio humano y dificultar la respiración. Las personas con asma, en particular los niños, son sensibles a estos efectos del SO₂. Las emisiones de SO₂ que conducen a altas concentraciones de SO₂ en el aire generalmente también conducen a la formación de otros óxidos de azufre (SO_x). Los SO_x pueden reaccionar con otros compuestos en la atmósfera para formar pequeñas partículas. Estas partículas contribuyen a la contaminación por material particulado (PM). Las partículas pequeñas pueden penetrar profundamente en los pulmones y en cantidad suficiente pueden contribuir a problemas de salud. (EPA, s.f.)

La afectación a la salud por concentraciones de SO₂ en el ambiente, ha sido analizada en varios estudios, donde se trata de analizar la relación de las concentraciones de SO₂ en el ambiente, con el grado de afectación que puede tener una población o una vegetación cercana, pero en estudios realizados por la OMS, sugieren que existe un claro aumento en los niveles de mortalidad inmediatamente después de episodios de aumentos en los niveles ambientales de SO₂. No obstante, no resulta definitivo en estos estudios si estos efectos son atribuibles exclusivamente al efecto del SO₂ o a la combinación de este gas con otros poluentes ambientales (Europa, 2000). Otros informes evalúan la afectación a diferentes concentraciones de SO₂ de ciertas especies vegetales, evidenciando la muerte de partes de ellas debido a altas concentraciones, pero concluye que es difícil de poder darle una relación directa en ambientes naturales, ya que lo obtenido solo se da en ambientes controlados (Díaz, 2000).

Existen diversas recomendaciones internacionales y nacionales sobre el nivel de concentración ambiental máxima admisible de SO₂. En Europa la OMS (Tabla 5) recomendó en el año 2005 que no se superasen los siguientes niveles umbral de SO₂ ambiental por su riesgo de morbimortalidad:

Tabla 5
Valores legislados para SO₂ en Europa

| Valor legislado | Valor Límite | Periodo |
|--|-----------------------|---|
| Valor límite horario (VLH) para la protección de la salud humana (fecha de cumplimiento: 1 de enero 2005) | 350 ug/m ³ | Valor medio en 1 h. No debe superarse en más de 24 ocasiones por año civil |
| Valor límite diario (VLD) para la protección de la salud humana (fecha de cumplimiento: 1 de enero 2005) | 125 ug/m ³ | Valor medio en 24 h. No debe superarse en más de 3 ocasiones por año civil |

| | | |
|---|-----------------------|---|
| Valor límite para la protección de los ecosistemas (nuevo nivel crítico para la protección de la vegetación, según la Directiva 2008/50/CE y el RD 102/2011) | 125 ug/m ³ | Valor medio en 24 h. No debe superarse en más de 3 ocasiones por año civil |
|---|-----------------------|---|

Fuente: Valores de control de SO₂ para Europa. Real Decreto 102/2011

En el Perú, los valores límites de SO₂ ha tenido varios cambios a lo largo del tiempo, en la Tabla 6 se evidencia el cambio:

Tabla 6
Normas relacionadas con SO₂

| NORMA | 24 horas (ug/m³) | Anual (ug/m³) | Numero de excedencia |
|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| D.S 074-2001-PCM | 365 | 80 | 1 |
| D.S. 003-2008-MINAM | 80 | - | |
| D.S. 006-2013-MINAM | 20 | - | |
| D.S 003-2017-MINAM | 250 | - | 7 |

Fuente: Elaboración propia: Muestra variación de los valores de control para el SO₂.

2.3. Evaluación

La toma de datos y la evaluación de las concentraciones del dióxido de azufre presentes en Santa María de Huachipa, se realizó entre enero del 2020 a diciembre del 2021.

Las estaciones utilizadas para el presente estudio, fueron seleccionadas y definidas por la Refinería Cajamarquilla, ubicadas a barlovento y sotavento de la operación, para un mejor análisis de las condiciones del SO₂, como parte del cumplimiento al plan de monitoreo indicado en los instrumentos ambientales vigentes. La ubicación de las estaciones de SO₂ se describe en la Tabla 7

Tabla 7.
Estaciones de monitoreo de calidad del aire

| Código de estación | Coordenadas UTM* (WGS 84 – Zona 18 S) | | Descripción | Norma de comparación de acuerdo con el IGA |
|--------------------|--|-----------|---|---|
| | Este | Norte | | |
| EC-1 | 294 874 | 8 675 947 | Techo de las oficinas administrativas | ECA para Aire 2001 y 2008 (D.S. N° 074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM) |
| EC-2 | 295 195 | 8 676 301 | Costado de la poza Jarosita N°5 | |
| EC-3 | 295 665 | 8 677 873 | Radio observatorio Jicamarca | |
| EC-4 | 294 684 | 8 675 726 | Zona de garita, ingreso a la refinería. | |
| EC-6 | 295 896 | 8 676 927 | Poza 6 | |

Fuente: Elaboración propia. Muestra los puntos de monitoreo

2.3.1. Instrumentos

Dentro de los materiales utilizados, los podemos dividir en:

- Libreta de campo para toma de datos de inicio y fin de monitoreo
- Cámara fotográfica
- Plano en Google Earth de la Refinería Cajamarquilla
- Registro Fotográfico
- 01 Laptop s(Descarga de datos de los analizadores automáticos)
- 01 impresora (registro de datos)
- Gps Garmin oregon, se utilizó para ubicar las coordenadas en cada punto de muestreo en WGS84
- Camioneta Hilux para la movilización del personal y equipos
- Shellter móvil para analizador

Figura 3.
Shellter móvil



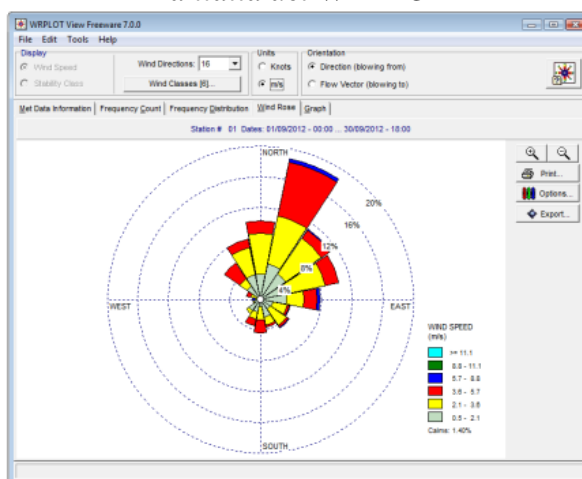
Figura 4.
Teledyne Api T100



- Analizador automático Teledyne T100 – SO₂
- Estación meteorológica Vantage PRO 2 plus
- Software:
- WRPLOT, es un software gratuito para la construcción de Rosas de Viento para datos meteorológicos. Proporciona una vista de gráficas de rosas de viento, análisis de frecuencias, así como gráficas para diversos formatos de datos meteorológicos.

Figura 5.

Pantalla del WRPLOT



- Numaview, es una plataforma de la empresa Teledyne para la descarga de los valores de los analizadores, estos pueden ser mediante un USB o cable RS232.

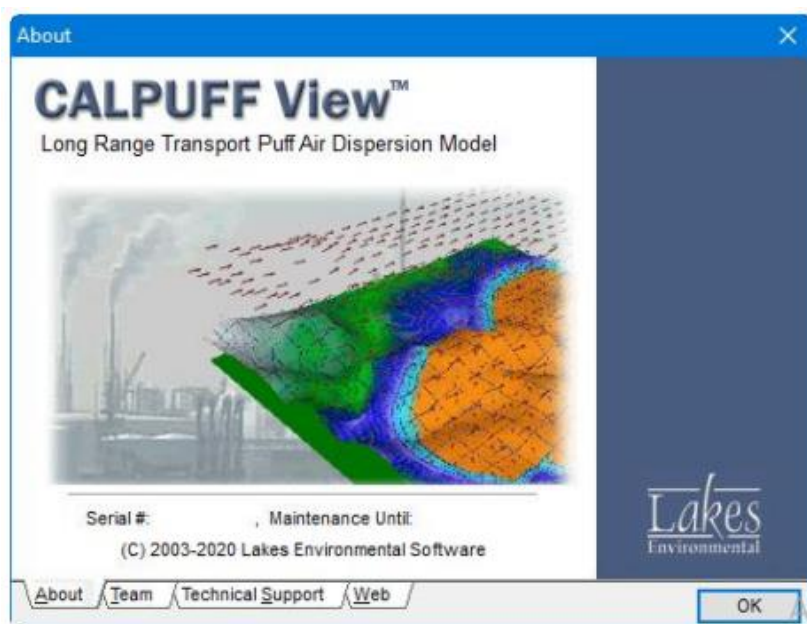
Figura 6.

Pantalla de Teledyne



- ARCMAP, Se utilizó el ArcGis 10.8, para elaborar mapas de Isolíneas de concentración de SO₂ y así analizar el comportamiento espacial de dichos parámetros.
- CALPUFF, se utiliza para poder generar los mapas de viento de la zona de estudio.

Figura 7.
Pantalla del Calpuff



- Google earth, se usó para ubicar espacialmente las estaciones de monitoreo, a fin de poder visualizar las rosas de viento.

2.3.2. Procedimientos de muestreo

2.3.2.1. Funcionamiento de analizador.

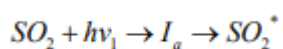
Los analizadores de Dióxido de Azufre emplean el principio de fluorescencia pulsante o Fluorescencia Ultravioleta. Este método está basado en la energía de luz discreta descargada o fluorescencia característica de la molécula de dióxido de azufre SO₂ cuando es irradiada con luz ultravioleta. Esta luz fluorescente está también en la región ultravioleta (UV) del espectro, aunque a una longitud de onda distinta que la radiación incidental.

Una de las ventajas de este método de detección es que el monitoreo a longitudes de onda comprendidas entre 190 y 230 nm, presenta poca interferencia de la fluorescencia debida a otras sustancias que puedan estar presentes en el aire ambiente y que no corresponden a lo que se desea medir. La luz es detectada por un tubo fotomultiplicador que produce un voltaje proporcional a la intensidad de la luz, la cual, a su vez, es traducida a concentraciones de SO₂ por medio de factores de calibración.

Esta tecnología utiliza dos tipos de luz, una fuente UV continua, mecánicamente interrumpida, o una fuente de luz UV electrónicamente pulsada. A longitudes de onda específicas, tanto el vapor de agua como el oxígeno, pueden distorsionar la fluorescencia de los óxidos de azufre.

Una lámpara de Xenón emite la radiación UV, la cual pasa a través de una cámara de reacción donde las moléculas de SO₂ son excitadas debido a la energía radiada, disipando parte de la energía con movimientos vibracionales y rotacionales.

La reacción que describe este fenómeno es:



Debido a que, por naturaleza, todo cuerpo o sustancia tiende a recuperar su estado inicial, las moléculas de SO₂ excitadas, comienzan a emitir una radiación superior en longitud de onda a la radiación aplicada (aprox. 350 nm) generando así una luz fluorescente que es detectada por el tubo fotomultiplicador (PMT), la cual es proporcional a la concentración de SO₂ en la cámara de reacción.

La absorción de radiación por las moléculas de SO₂ cumple la Ley de Lambert - Beer, que se puede expresar de la siguiente forma:

$$A = \log\left(\frac{I_a}{I_o}\right) = a \cdot x \cdot C_{SO_2}$$

Donde:

A= Absorbancia de SO₂ (adimensional)

I_a= Intensidad de la luz ultravioleta en cualquier punto del sistema (radiación resultante)

I_o= Intensidad de la luz ultravioleta incidente (radiación incidente)

a = Coeficiente de absorción del SO₂ ó absorptividad molar (l/mol.cm)

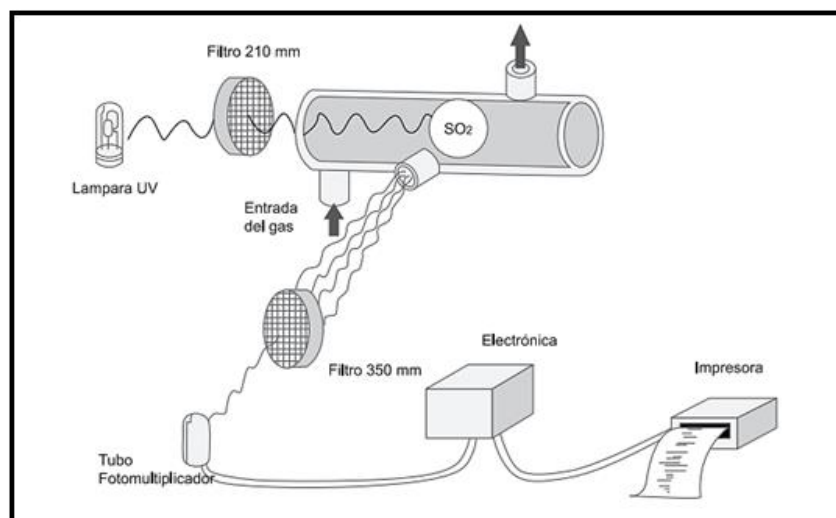
x = Longitud de la trayectoria ó camino óptico recorrido ó tamaño de la celda (cm)

C_{SO₂} = Concentración molar de SO₂ (mol/l)

El coeficiente de absorción es propio de cada sustancia y se puede encontrar en diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con las técnicas de análisis cuantitativo para sustancias químicas (University, s.f.).

La Figura 8 es un diagrama de flujo correspondiente a un analizador de dióxido de azufre empleando la técnica de fluorescencia ultravioleta.

Figura 8.
Esquema del principio de operación para un analizador de dióxido de azufre



Fuente: Nota: Se muestra el proceso de toma de datos de SO₂ en chimeneas. (Kenneth Wrak, 1998)

2.3.2.2. Procedimientos de Campo

Para instalar el punto se debe tener una ubicación libre y a una distancia de por lo menos 4 metros de la edificación u otra estructura más cercana que pudiese ser un obstáculo para la libre circulación del aire, para este estudio de investigación se tuvo la ubicación de los puntos indicados en los instrumentos ambientales aprobados. Los puntos de monitoreo fueron colocados a barlovento y sotavento de la unidad (Tabla 8).

Tabla 8
Condiciones de monitoreo

| Código de estación | Coordenadas UTM* (WGS 84 – Zona 18 S) | | Descripción | CONDICIÓN |
|--------------------|--|-----------|--|---------------------|
| | Este | Norte | | |
| EC-1 | 294 874 | 8 675 947 | Techo de las oficinas administrativas | Caseta de monitoreo |
| EC-2 | 295 195 | 8 676 301 | Costado de la poza Jarosita N°5 | Shellter |
| EC-3 | 295 665 | 8 677 873 | Radio observatorio Jicamarca | Shellter |
| EC-4 | 294 684 | 8 675 726 | Zona de garita, ingreso a la refinera. | Caseta de monitoreo |
| EC-6 | 295 896 | 8 676 927 | Poza 6 | Shellter |

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones utilizadas en el presente estudio tienen la siguiente descripción:

- EC-1, ubicada en el techo de la oficina administrativa o Servicios Generales. La estación se encuentra a barlovento de la unidad, teniendo como resultado las concentraciones de SO₂ provenientes de la población. (Figura 9)

Figura 9.
Ubicación de la estación EC-1



Figura 10.
Estación de monitoreo EC-1



- EC-2, ubicada al costado o corona de la poza Jarosita N°5. La estación se encuentra a sotavento de la unidad, teniendo como resultado las concentraciones provenientes de la unidad y de la población. (Figura 11)

Figura 11.
Ubicación de la estación EC-2

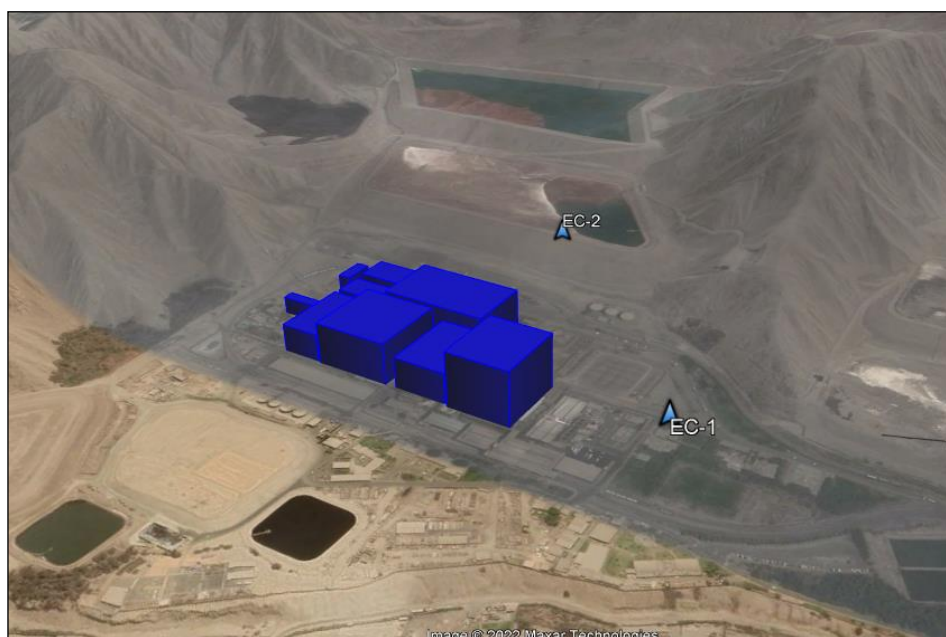


Figura 12.
Estación de monitoreo EC-2



- EC-3, ubicada en el Radio Observatorio de Jicamarca, el cual no se encuentra de la unidad y pertenece del Instituto Geográfico del Perú. La estación se encuentra a sotavento de la unidad, teniendo como resultado las concentraciones provenientes de la unidad y de la población. (Figura 13)

Figura 13.

Ubicación de la estación EC-3



Figura 14.

Estación de monitoreo EC-3



- EC-4, ubicada en la caseta Cooperativa, al costado del comedor. La estación se encuentra a sotavento de la unidad, teniendo como resultado las concentraciones provenientes de la unidad y de la población. (Figura 15)

Figura 15.
Ubicación de la estación EC-4



Figura 16.
Estación de monitoreo EC-4



- EC-6, ubicada al costado o corona de la poza Jarosita N°6. La estación se encuentra a sotavento de la unidad, teniendo como resultado las concentraciones provenientes de la unidad y de la población. (Figura 17)

Figura 17.

Ubicación de la estación EC-6



Figura 18.

Ubicación de la estación EC-6



Las casetas se encuentran acondicionadas con un rack para equipos, aire acondicionado y un sistema de toma de muestra. Antes de comenzar con las mediciones se debe verificar valores de campo indicados en la Tabla 9.

Tabla 9.
Parámetros de control de analizadores

| RANGE (Rango) | PRESS (Presión) | SAMPLE FL (Flujo de Muestra) | UV Lamp (Tensión de salida) | STR LGT (Variación debido a la perdida de la Luz) | SO2 Slope (Sensibilidad del equipo en la última calibración) | SO2 Offset (Variación del equipo en la última calibración) |
|--------------------------|----------------------------|---|--|--|---|---|
| PPM | In-Hg-A | cm ³ /min | mV | ppb | - | mV |
| 0 - 20 | ± 2" atm | 650 ±10% | 2000 - 4000 | ≤ 100 ppb con Aire Cero | 1,0 ± 0,3 | < 250 |

Fuente: Elaboración propia.

Se anotó y se corroboró la ubicación de la estación de monitoreo, empleando el GPS y las fichas SIAM de las estaciones. Se delimitó el área de trabajo con conos de seguridad evitando el ingreso de personas y animales de la zona.

Nos aseguramos que la tensión eléctrica sea de 220 V (60 HZ) y una potencia mínima de 2500 Watts en las estaciones de monitoreo donde se utilizó generador eléctrico.

- Para una correcta instalación del analizador se debe tener en cuenta lo siguiente:
- Compruebe que todos los componentes (bomba, unidad del sensor, filtro, toma muestra y unidad electrónica) se ubiquen de manera correcta.
- Asegurar el equipo de tal manera que no ocurra ningún tipo de movimientos bruscos que pueda dañar la condición óptima del equipo.

- Un analizador de gases cuenta con distintas configuraciones, dependiendo de la marca y metodología usada en su medición. Por consiguiente, éste puede estar formado por solo una unidad o contar con otras externas a la unidad de medición (bombas o equipos auxiliares, etc.).
- Insertar el cable de poder en la parte posterior del equipo.
- Insertar el tubo de teflón en el ingreso de la muestra del equipo SAMPLE, esta se encuentra en la parte posterior del equipo.
- Compruebe que el Shelter se encuentra en buenas condiciones operativas mediante un registro, esta verificación se hará al inicio y al término del monitoreo.
- Para mayor información del proceso de armado revisar las indicaciones señaladas en el Manual del fabricante.
- A continuación, en la Figura 19 se describen los componentes del equipo ubicados en la parte frontal:

Figura 19.

Parte frontal de analizador Teledyne



Como se observa en la vista principal del equipo, en el plano delantero se ubican los botones de control, la pantalla alfa-numérica, los indicadores de estatus y el botón de encendido. A continuación, en la Figura 20, se muestra la descripción de los valores que presenta el equipo

Figura 20

Descripción de la pantalla de visualización del analizador

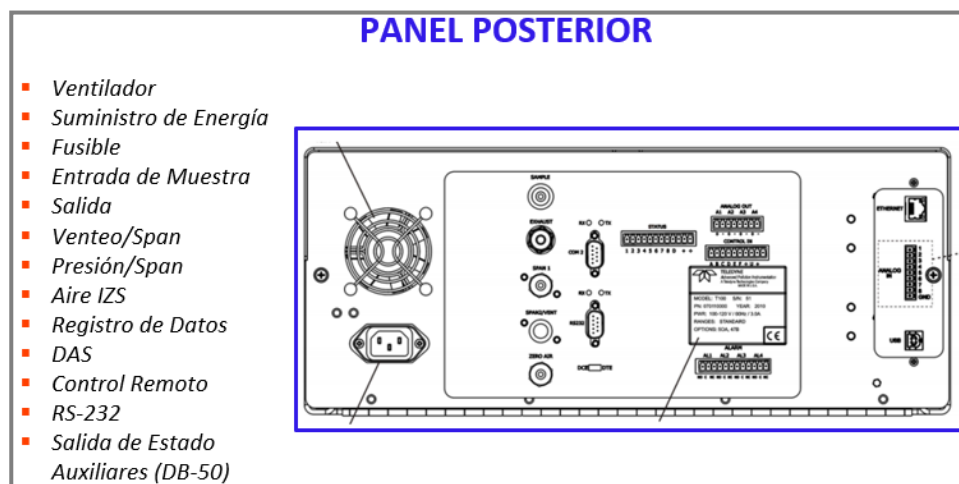
| Campo | Descripción / Función | | | |
|-----------------|--|----------|---|---|
| Estado | LEDs que indican los estados de Muestra, Calibración y Fallo, como sigue: | | | |
| | Nombre | Color | Estado | Definición |
| | SAMPLE | Verde | Off | La unidad no funciona en modo de muestra, DAS está desactivado. |
| | | | On | Modo de muestra activo; Actualización de la pantalla del panel frontal; Datos DAS siendo almacenado |
| CAL | Amarillo | Parpadeo | La unidad está funcionando en modo de muestra, la pantalla del panel frontal se actualiza, El modo de retención de DAS está activado, DAS desactivado | |
| | | Off | Auto Cal deshabilitado | |
| FAULT | Rojo | On | Auto Cal habilitado | |
| | | Parpadeo | La unidad está en modo de calibración | |
| Conc | | Off | No existen advertencias | |
| | | Parpadeo | Existen advertencias | |
| Mode | Muestra la concentración real del gas de muestra que está midiendo el analizador en el unidades de medida actualmente seleccionadas | | | |
| Param | Muestra el nombre del modo de funcionamiento actual del analizador. | | | |
| Control Buttons | Muestra una variedad de mensajes informativos como mensajes de advertencia, datos operativos, función de prueba valores y mensajes de respuesta durante las tareas interactivas. | | | |
| Control Buttons | Muestra etiquetas dinámicas y sensibles al contexto en cada botón, que está en blanco cuando está inactivo hasta que sea aplicable | | | |

Fuente: Datos tomados de la pantalla donde se observa la descripción y función del analizador de datos.

En plano posterior se ubican las entradas y salidas del sistema neumático, los puertos de comunicación, la entrada de poder del equipo y ventilador. Ver Figura 21 y Fuente: Datos tomados de la lectura del analizador de datos Teledyne.

Figura 22

Figura 21.

Parte posterior del analizador Teledyne

Fuente: Datos tomados de la lectura del analizador de datos Teledyne.

Figura 22.

Descripción de los indicadores del lado posterior

| DESCRIPCIÓN DEL PANEL TRASERO | |
|---|---|
| Componentes | Funciones |
| cooling fan | Atrae el aire ambiente hacia el chasis a través de los respiraderos laterales y los escapes por la parte trasera. |
|  AC power connector | Conector para cable de tres clavijas para aplicar energía CA al analizador. ¡PRECAUCIÓN! Las especificaciones de alimentación del cable DEBEN cumplir con las especificaciones especificaciones en la etiqueta del número de modelo del panel posterior del analizador |
| Model/specs label | Identifica el número de modelo del analizador y proporciona especificaciones de voltaje y frecuencia |
| SAMPLE | Conecte aquí una línea de gas desde la fuente de gas de muestra. Los gases de calibración también se ingresan aquí en unidades sin opciones de válvula de cierre / intervalo / cero instalado. |
| EXHAUST | Conecte aquí una línea de gases de escape de no más de 10 metros de largo que conduzca al exterior refugio o área inmediata que rodea el instrumento. |
| SPAN 1 | En unidades con opciones de válvula de cierre cero / intervalo / instaladas, conecte una línea de gas a la fuente de gas patrón calibrado aquí. |
| SPAN2/VENT | Se utiliza como una segunda línea de entrada de gas de calibración cuando el instrumento está configurado con cero / intervalo válvulas y una opción de gas dual, o como una línea de ventilación de gas de calibración cuando el nstrumento está configurado con una opción de intervalo presurizado (llame a la fábrica para obtener más detalles). |
| ZERO AIR | Aire cero interno: en unidades con opciones de válvula de cierre cero / intervalo / instaladas, pero sin El depurador de aire cero conecta una línea de gas a la fuente de aire cero aquí. |
| RX TX | Los LED indican la actividad de recepción (RX) y transmisión (TX) cuando parpadea. |
| COM 2 | Puerto de comunicaciones serie para RS-232 o RS-485. |
| RS-232 | Puerto de comunicaciones en serie solo para RS-232. |
| DCE DTE | Cambie para seleccionar equipo terminal de datos o equipo de comunicación de datos durante la comunicación RS-232. |
| STATUS | Para salidas a dispositivos como controladores lógicos programables (PLC). |
| ANALOG OUT | Para salidas de bucle de voltaje o corriente a un registrador de gráfico de banda y / o un registrador de datos. |
| CONTROL IN | Para activar de forma remota los modos de calibración de cero y span. |
| ALARM | Opción de alarmas de concentración y avisos del sistema. |
| ETHERNET | Conector para comunicación remota en red o internet, mediante cable Ethernet |
| ANALOG IN | Opción para señales de voltaje externas de otra instrumentación y para registrar estas señales |
| USB | Conector para conexión directa a ordenador portátil, mediante cable USB. |

Fuente: Datos tomados del panel posterior con los componentes del equipo analizador de datos.

Para una correcta instalación del analizador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Fije el aire acondicionado a 25 °C +/- 5 °C y los termostatos del aire acondicionado a 25 °C +/- 5 °C del ambiente de trabajo. Por ejemplo, cuando se instalen los equipos dentro de una cabina (shelter).
- Verificar que la temperatura y Humedad dentro del Shelter se encuentren entre [] 20°C a 30°C y 30% HR a 60% HR respectivamente. Registrar los parámetros Temperatura y Humedad de operación mostrados en la pantalla del Termohigrómetro en el registro
- Compruebe que todos los componentes (bomba, unidad del sensor, filtro, toma muestra y unidad electrónica) se ubiquen de manera correcta.
- Presione el botón de encendido sobre la unidad.
- Una vez encendido el monitor continuo, dejar que los parámetros del equipo tomen los valores dentro del rango recomendado por el fabricante.

- Los Led's indicadores ubicados en el panel frontal nos muestra el Status del equipo (SAMPLE verde; FAULT rojo, CAL naranja).
- Una vez estables los valores proceder a verificar y registrar los distintos parámetros de operación mostrados en la pantalla con la "Planilla de verificación de parámetros de operación" INS-R-I&E-ENV.28.
- Programar la hora y fecha del equipo.
- Programar el intervalo de almacén de los datos según manual del fabricante.
- Se debe considerar que un equipo de monitoreo de gases en la medida de lo posible no puede ser expuesto al ambiente externo, por ello debería ser instalado dentro de una caseta con un módulo de aire acondicionado.

2.3.2.3. Muestreo de SO₂

Los equipos automáticos se encuentran dentro de casetas acondicionadas para la medición, pero algunas estaciones están dentro del SHELTER los cuales en el lugar cuentan con la temperatura, humedad y voltaje en condiciones que no tenga efectos en el equipo, además seguir con las especificaciones establecidos por el fabricante del equipo.

La EPA Quality Handbook recomienda que se registre la temperatura de operación dentro del shelter cada 24 horas, y debe haber una desviación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ del valor seteado durante todo ese periodo. Se recomienda también operarlos dentro de un rango de operación de 20 a 30 °C. Todas las mangueras de muestra deben ser de Teflón, normalmente son de 1/4".

Los analizadores de SO₂ cuentan con un sistema de toma de muestra. El sistema que forman la toma de muestra, el múltiple que la distribuye entre los diferentes analizadores, la trampa de agua y partículas grandes, y el motor extractor son la primera etapa en el trayecto

del flujo de la muestra y están en contacto directo con la misma y con todas las impurezas que transporta, ya que no hay ningún tratamiento previo.

Por esta razón, la acumulación de polvo, además de insectos pequeños es frecuente en el interior de las paredes de los tubos y de la trampa. Dichas impurezas, de permanecer por periodos prolongados, pueden provocar que parte de los contaminantes reaccionen o queden atrapados entre ellas, alterando las mediciones de los equipos.

2.3.2.4. Descarga de datos

Para la descarga de datos se cuenta con el programa APICOM/NUMAVIEW, el cual es una herramienta fácil de usar, pero potente programa de interfaz. Se utiliza para la descarga de datos de los equipos automáticos de gases TELEDYNE.

El programa da la opción para poder indicar el periodo de toma de datos, para los monitoreos se programa un valor cada hora.

2.3.2.5. Interferencias

Para reducir las interferencias, los analizadores de SO₂ también cuentan con lavadores o con dispositivos filtrantes para la remoción de hidrocarburos, además de filtros para eliminar el ingreso de partículas.

Además, se tienen que tener las siguientes consideraciones para una correcta medición de SO₂:

- No golpear el equipo ni forzar el armado de sus piezas.
- Procurar no ensuciar la unidad del equipo.
- No exponer a agentes químicos.
- No someter la unidad electrónica a efectos de campos magnéticos o eléctricos.
- No exponer a humedad excesiva la unidad electrónica.

- Utilizar fuentes de alimentación (Voltaje) estables, haciendo uso de estabilizadores de tensión o UPS.
- Tomar con cuidado sus partes, componentes y considerar que situaciones del mal tiempo (lluvia, nieve, etc.) el operador puede resbalar y causar algún daño al equipo o piezas.

2.3.2.6. Emisiones de la Refinería de Cajamarquilla

La Refinería de Zinc de VM-CJM es una planta de alta tecnología que produce zinc refinado con 99,995 % de pureza, a partir de concentrados de zinc adquiridos de distintos productores. Está ubicada en el valle de la quebrada de Jicamarca, en las afueras de la ciudad de Lima y sus instalaciones actuales ocupan un área de aproximadamente 17 hectáreas.

A lo largo de los años la Refinería de Zinc Cajamarquilla ha sufrido varias ampliaciones y mejoras tecnológicas. A continuación, se resumen las modificaciones, las mismas que fueron aprobadas mediante los instrumentos ambientales correspondientes:

- En el 2007 se aprobó la ampliación de capacidad de producción a 320 toneladas de zinc refinado que consistió en la construcción de una nueva planta de tostación, una nueva planta de ácido sulfúrico, la expansión de las plantas de lixiviación y purificación y la construcción de una nueva casa de celdas electrolíticas. Por otro lado, también se implementó una nueva línea de fusión de cátodos y moldeo. En las plantas de cadmio y en la planta de polvo de zinc se implementó una línea adicional para asumir el incremento de las necesidades de la planta de purificación de soluciones. Asimismo, se implementó la nueva planta de refinación de indio y se amplió la planta de tratamiento de efluentes;

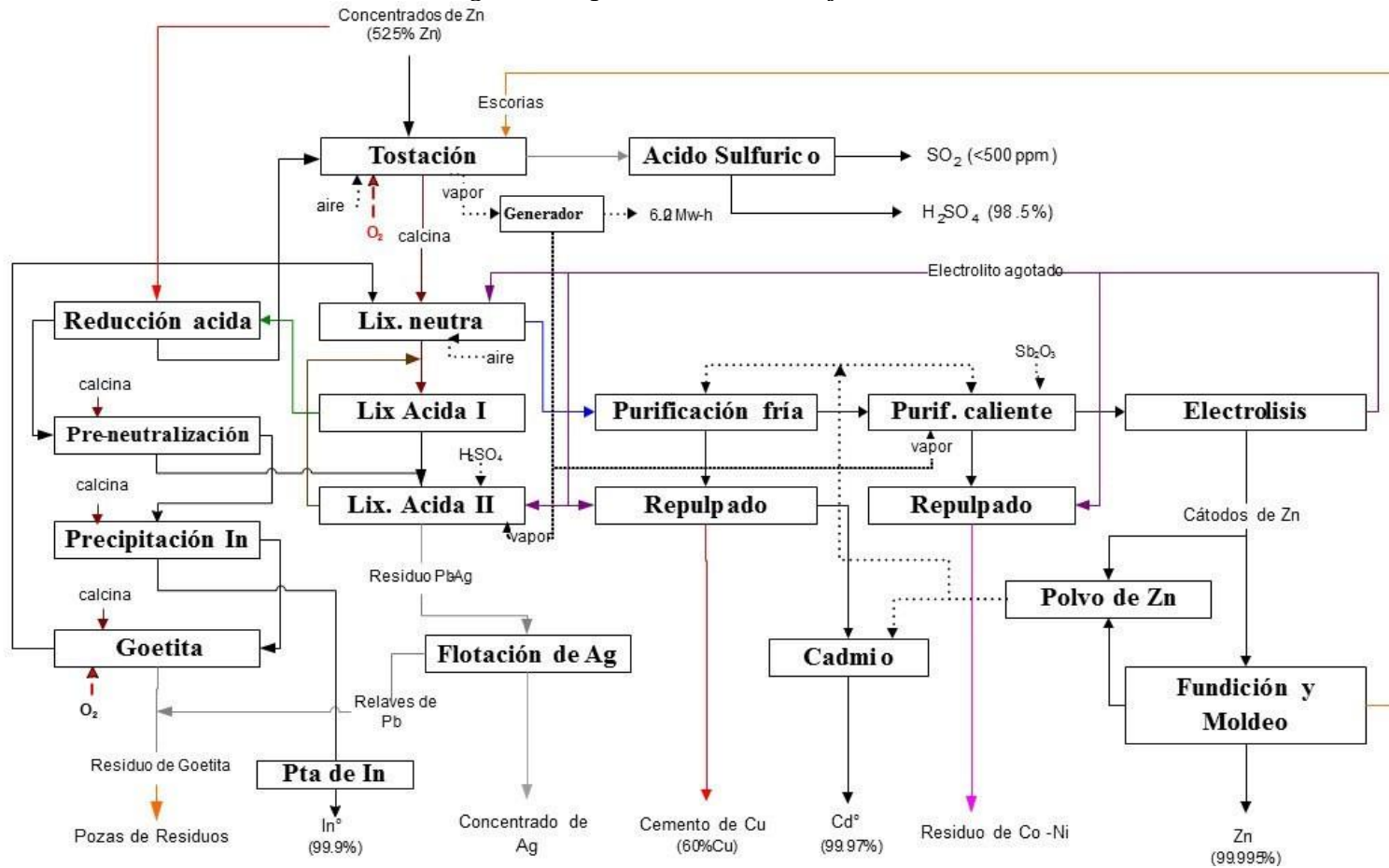
- En el año 2012 se aprobó la construcción y operación de la Poza 6, para almacenar 3 196,280 m³ de residuos generados en la refinación del zinc (MEIA4, 2012);
- En el año 2014 se aprobó el proyecto de lavadores de gases de SO₂ en las plantas de ácido N°1 y N°2 (ITS N°1, 2014) con el objetivo de mejorar la eficiencia y estabilidad operativa de la planta de tostación y ácido.
- En el año 2015 se aprobó la instalación de un sistema de remoción de mercurio
- (ITS N°2 ,2015) con el objetivo de reducir la concentración de mercurio en el ácido sulfúrico producido como subproducto en la Refinería de Zinc Cajamarquilla.
- En el año 2016 se aprobó la modificación del método de construcción para el cuarto recrecimiento del depósito de Lodos neutros y área de compostaje (ITS N°3, 2016).

Además de producir zinc refinado, la Refinería de Zinc Cajamarquilla obtiene de su proceso subproductos que aprovechan al máximo los componentes valiosos que se encuentran en los concentrados. Estos subproductos son los siguientes:

- Ácido sulfúrico (98.5% H₂SO₄);
- Cadmio refinado (99.7% Cd);
- Cemento de cobre (60.0% Cu);
- Concentrado plomo - plata, el cual es tratado para obtener un concentrado comercializable (15% Pb y 500 oz Ag/TC);
- Residuo de cobalto - níquel (2 % Co);
- Polvo de zinc;
- Indio refinado

Figura 23, muestra el diagrama de flujo general del proceso de la Refinería de Cajamarquilla

Figura 23.
Diagrama de producción de la refinera



Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

A continuación, en la Tabla 10 se presentan los parámetros de interés desarrollada en las principales etapas del proceso de producción actual de la refinería:

Tabla 10.

Parámetros de interés según actividad desarrollada en la Refinería de Cajamarquilla

| N° | Actividad/componente | Parámetros de interés |
|-----------|---|---|
| 1 | Planta de recepción y almacenamiento de concentrados | PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales |
| 2 | Planta de tostación | SO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 3 | Planta de ácido sulfúrico | PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, SO ₂ |
| 4 | Planta de lixiviación | benceno |
| 5 | Planta de flotación plomo-plata | PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales |
| 6 | Planta de recuperación de indio | CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 7 | Planta de purificación de sulfato de zinc | Metales |
| 8 | Planta de cadmio | CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 9 | Planta de electrólisis | Metales |
| 10 | Planta de polvo de zinc | CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 11 | Planta de fundición y moldeo | CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 12 | Planta de tratamiento de escorias (dross) | CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales, NO ₂ , benceno |
| 13 | Plantas de tratamiento de efluentes | -- |
| 14 | Depósitos y pozas de residuos industriales | PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales |
| 15 | Canteras para materiales de préstamo | PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales |
| 16 | Actividades auxiliares en áreas administrativas, almacenes, entre otras instalaciones | -- |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla se describirá solo el proceso donde se tiene emisiones

- **Tostación de concentrados**

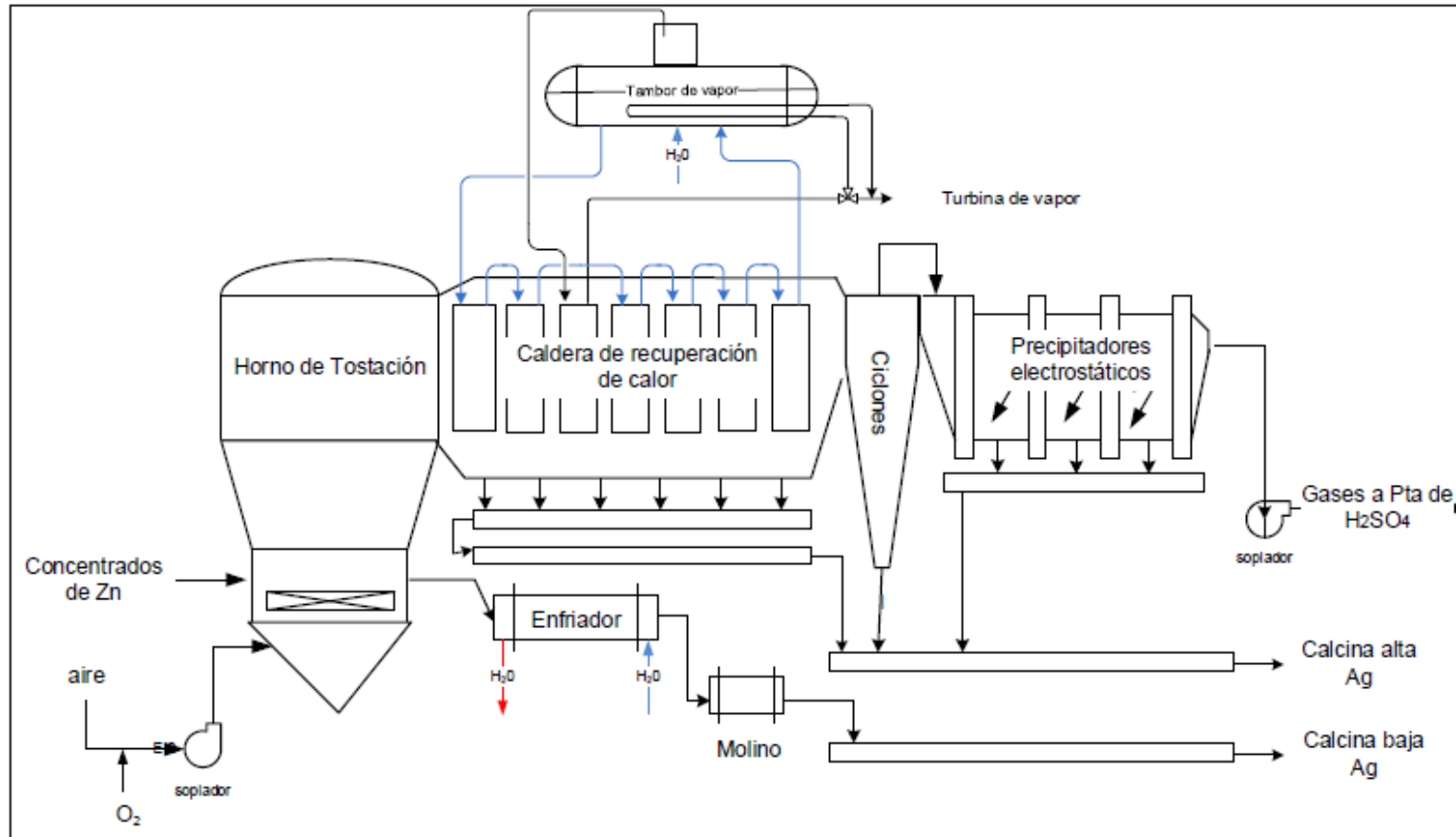
El proceso de tostación se lleva a cabo en tostadores de lecho fluidizado y consiste en la oxidación de los minerales sulfurados contenidos en los concentrados de zinc que se procesan. La oxidación se realiza con el oxígeno contenido en el aire que se inyecta a través de la cama del horno. La Figura 24 muestra el detalle del proceso, así como los principales equipos complementarios de esta planta. Las principales reacciones químicas que se ocurren en esta etapa son:



Dónde: M = Pb, Cu, Cd, Ag y otros.

La principal diferencia que existe entre ambas plantas de tostación está en el área de la cama de tostación, siendo uno de los hornos de 100 m² y del otro de 123 m². En la Figura 24, se muestra el diagrama de Flujo y Equipos Principales de la etapa de Tostación

Figura 24.
Diagrama de Flujo y equipos de etapa de tostación

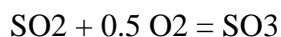


Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

- **Ácido Sulfúrico**

Los gases de tostación son conducidos a una etapa de depuración de gases que consiste en torres en serie, de enfriamiento y lavado, y una batería de 4 filtros electrostáticos. Los gases limpios y saturados con agua procedentes de la planta de depuración de gases, pasan luego por una torre de secado en el cual, en contracorriente, se ponen en contacto los gases con una solución de ácido sulfúrico al 95%.

Los gases de SO₂ limpios y secos son conducidos mediante un sistema de soplado (soplador centrifugo) a través de intercambiadores de calor gas-gas para ser calentados, con los gases calientes de SO₃ provenientes de la torre de catálisis, hasta una temperatura mínima de 425°C, para ingresar a la primera cama de la torre de catálisis en la cual al pasar por un lecho de V₂O₅ (catalizador) se oxida el SO₂ a SO₃ (reacción exotérmica). Luego estos gases de SO₃ son enfriados por los gases de SO₂ para luego pasar por la segunda cama de la torre de catálisis donde continúa la oxidación del SO₂; estos gases nuevamente son enfriados para pasar por una tercera cama de la torre de catálisis y continuar con la oxidación del SO₂. La reacción química que se lleva a cabo en las tres camas es la siguiente:



Los gases que salen de la tercera cama son enfriados hasta 185°C para ser encaminados a la primera etapa de absorción o absorción intermedia.

En la torre de absorción intermedia se pone en contacto el gas en contracorriente con una solución de ácido sulfúrico al 98.5%, manteniéndose esta concentración con la adición de agua y/o de ácido diluido (95%) proveniente de la torre de secado. La reacción química que se lleva cabo es la siguiente.



Se mantiene el ácido en circulación por la torre mediante un sistema de bombeo. El ácido pasa por un intercambiador de calor para mantener la temperatura del mismo en 80°C. Los gases al salir de esta torre pasan por un sistema de filtración para eliminar la presencia de nieblas y/o gotas de ácido en el gas.

Luego los gases son encaminados hacia intercambiadores de calor gas-gas para ser calentados nuevamente hasta 420°C. El gas de calentamiento es el proveniente de la salida de la tercera y cuarta cama de catálisis. Los gases calientes pasan por una última cama (lecho de V₂O₅), cuarta cama para completar la oxidación de SO₂ remanente a SO₃. En la cuarta cama se produce la conversión casi total del SO₂ restante en SO₃, obteniéndose un rendimiento total mínimo del 99,5 %. Los gases de la 4a capa refrigerados a 180 °C pasan a una última torre de absorción o absorción final.

En la torre de absorción final al igual que en la torre de absorción intermedia los gases de SO₃ se ponen en contacto con una solución de ácido sulfúrico al 98.5%. Los equipos y condiciones operativas de esta torre son las mismas que en la torre de absorción intermedia.

Finalmente, los gases de salida de la torre de absorción final contienen como máximo 500 ppm de SO₂ y son direccionados a la chimenea de emisión a la atmósfera.

Tanto el ácido sulfúrico producido en la torre de absorción intermedia como en la final, es enfriado (en un intercambiador de calor de haz tubular, con agua) antes de ser bombeado a los tanques de almacenamiento para su comercialización y/o consumo interno.

A continuación, en la Tabla 11, se muestra las condiciones operativas (temperaturas) y las eficiencias de conversión de SO₂ a SO₃ en las diferentes camas de la torre de catálisis.

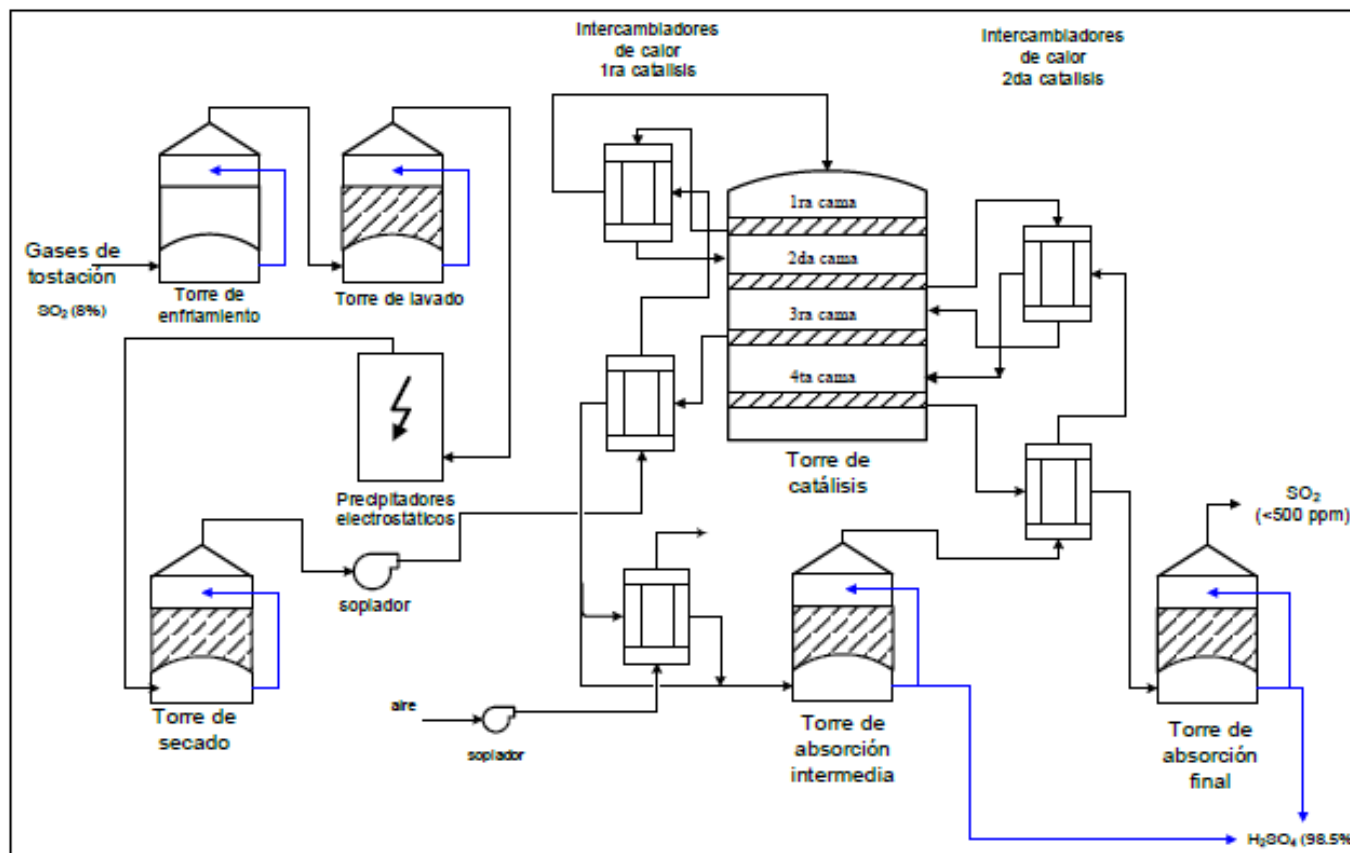
Tabla 11.
Temperatura de Convertidor

| Etapas de Catálisis | °C Ingreso | °C Salida | Eficiencia de oxidación (SO₂ a SO₃) |
|----------------------------|-------------------|------------------|--|
| Primera cama | 425 °C | 590 °C | 60% |
| Segunda cama | 440 °C | 500 °C | 30% |
| Tercera cama | 430 °C | 460 °C | 5% |
| Cuarta cama | 420 °C | 440 °C | 4.50% |
| Total | | | 99.50% |

Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

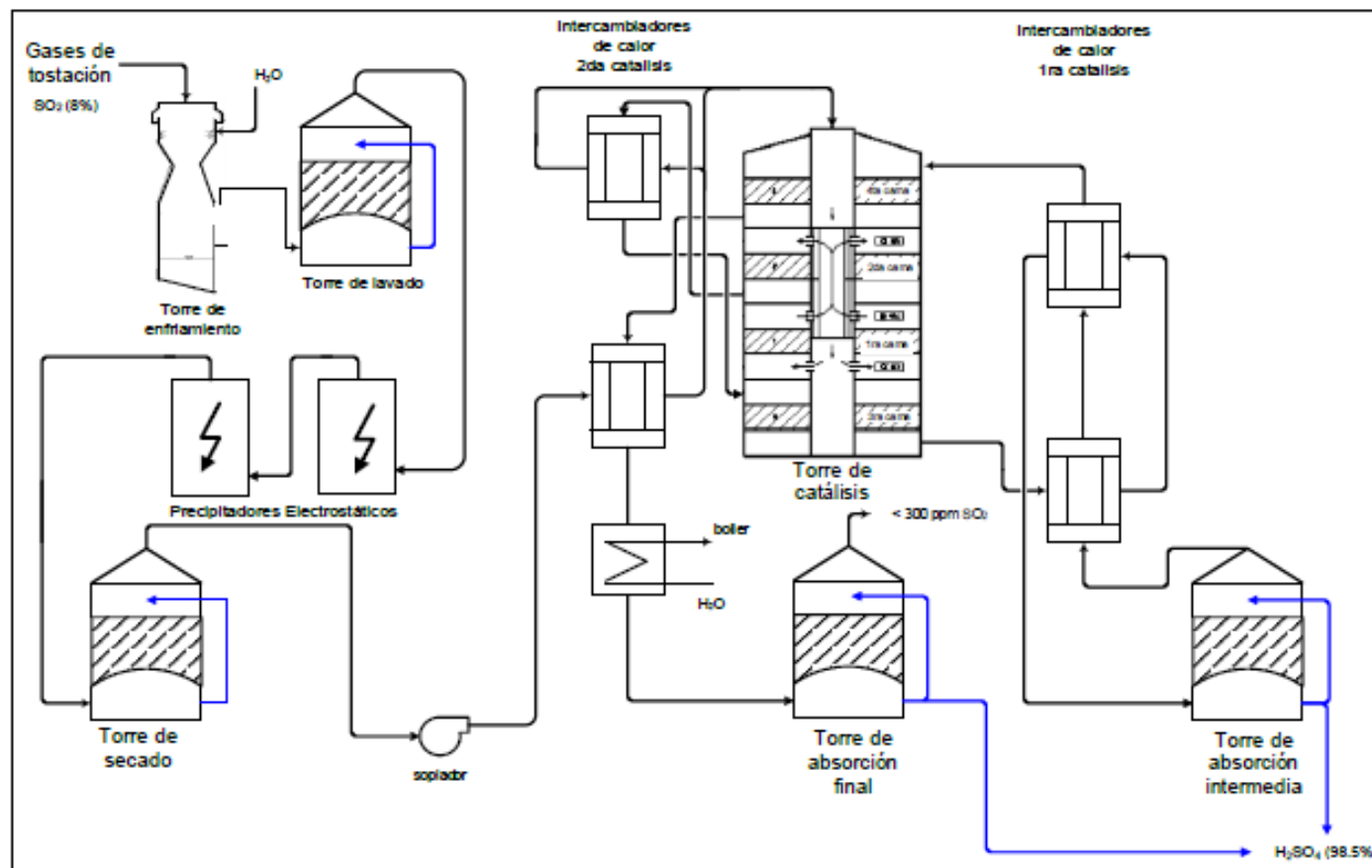
En la Figura 25, se muestra el diagrama de flujo de la planta de ácido sulfúrico (Intercambiadores de calor 1era catálisis) y en la Figura 26 se muestra diagrama de Flujo de la Planta de ácido sulfúrico (Intercambiadores de calor 2da catálisis).

Figura 25.
Diagrama de Flujo – Planta de ácido sulfúrico 1era Catálisis



Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

Figura 26.
Diagrama de Flujo – Planta de ácido sulfúrico 2da Catálisis



Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

El ácido sulfúrico producido se bombea a instalaciones de almacenamiento y despacho, la cual cuenta con 4 tanques con una capacidad total de 17,000 toneladas e infraestructura para despachar el ácido por ferrocarril y/o camiones cisterna.

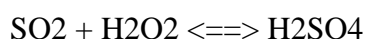
La refinería cuenta con dos sistemas de lavado para los gases residuales que eran emitidos mediante la chimenea de concreto; conjuntamente con el sistema de lavado de gases se tiene considerado dos chimeneas nuevas de 60 m de altura para la emisión de los gases tratados luego de haber pasado por el sistema de lavado indicado anteriormente.

El tratamiento de los gases residuales de las Plantas de Ácido Sulfúrico 1 y 2 que contiene dióxido de azufre (SO₂), consiste en pasar el gas por dos sistemas de lavado de acuerdo al procedimiento con Peróxido de Hidrogeno (Peracidox®).

El proceso de tratamiento de los gases residuales de cada planta de ácido consiste en oxidar el dióxido de azufre con el uso del peróxido de hidrógeno (H₂O₂) como agente de oxidación.

Este proceso no da lugar a la generación de subproductos o residuos, solo a la producción de ácido sulfúrico diluido, el cual se utiliza en la planta de ácido sulfúrico existente. El sistema puede funcionar de forma continua para reducir la concentración de SO₂ en el gas de cola de una planta de ácido sulfúrico a valor deseados y cumplir con las normas establecidas.

El SO₂ de los gases reacciona con el peróxido de hidrógeno para producir ácido sulfúrico de acuerdo a la siguiente reacción:



El gas conteniendo SO_2 de cada planta de ácido, es lavado en el sistema o torre de limpieza compuesto de dos etapas, el Depurador Venturi y el Scrubber (Peracidox® Depurador Venturi y el Scrubber® Tower Peracidox), con solución de ácido sulfúrico a aproximadamente al 45% en el que se disuelve el peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

El peróxido de hidrógeno utilizado como oxidante se introduce en la primera etapa del sistema de lavado en una cantidad proporcional a la estequiometría de dióxido de azufre a eliminar. La primera etapa de la torre de limpieza es un tipo de lavador Venturi con boquillas para el suministro del ácido sulfúrico al 45% y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e irrigación del flujo de gas conteniendo SO_2 . Cualquier oxidante residual en la solución que desborda a la segunda fase finalmente reacciona allí con los gases a la salida de la primera etapa del lavador - H_2O_2 .

La reacción es exotérmica (genera calor) y por lo tanto se requiere añadir agua de proceso al sumidero del Venturi. Después de la etapa de depuración Venturi, el gas que contiene todavía una pequeña cantidad de SO_2 entra al Scrubber (Peracidox ® Scrubber Torre) fluye en contra corriente para reaccionar con la solución circulante de ácido sulfúrico al 45% y peróxido de hidrógeno. El contenido de SO_2 en el gas que sale de la torre se reduce a un contenido de 100 ppm por la reacción final con el peróxido de hidrógeno. La corriente de ácido sulfúrico al 45% es transferido del lavador por control de nivel a un tanque de depósito y desde allí se bombea la solución a las Plantas de Ácido Sulfúrico.

Las actividades de la etapa de operación del sistema de lavado de gases son:

- Suministro de H_2O_2 desde Isotank (transporte) hacia tanque de almacenamiento de H_2O_2 de 100 m³
- Almacenamiento de peróxido en tanques de alimentación de lavadores

- Distribución del H₂O₂ por bombeo a lavadores de gases
- Lavado de gases de SO₂
- Descarga de Gas Tratado
- Recirculación del ácido diluido generado hacia la planta de producción de ácido existente

2.4. Marco Teórico

2.4.1. Bases teóricas.

El desarrollo de la humanidad ha venido acompañado de cambios en el medio ambiente, llegando incluso a tener una degradación progresiva del medio ambiente, siendo un problema que debemos hacerle frente en estos tiempos, “combinar las exigencias del crecimiento económico con la conservación del medio ambiente”. (López, 2008).

Para SACHS (2015) hemos tenido cambios tan notorios como, la falta de agua, el cambio químico de los océanos, pérdida de hábitats, siendo estos cambios incuestionables, siendo el desarrollo sostenible una solución a las interacciones entre los sistemas complejos como la economía mundial, la sociedad global y el medio físico de la tierra. (pp. 19)

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. (ONU, 2021)

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. (Salud, 2005, pp. 3).

Para el Senamhi (2021), el aire es una mezcla compleja de muchas sustancias. Los principales elementos constitutivos del aire son el nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Aproximadamente 78% del aire es nitrógeno y 21% oxígeno. El 1% restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón, helio, etc. Existen cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas, gases y vapores. (pp. 4)

La importancia de conocer el aire, se debe a que la atmósfera tiene un rasgo muy distintivo, el ser de carácter oxidante que se debe a la presencia del O₂. Los gases que provienen de origen natural y antropogénico se oxidan completamente en el aire, para luego precipitar en la superficie terrestre, estos procesos son vitales para la limpieza del aire.

2.4.2. Marco Legal

- La Constitución Política del Perú (1993), es la norma legal de mayor jerarquía en el país. En se resalta que es deber primordial del estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado a desarrollo de su vida.
- La ley General del Ambiente Ley N° 28611, como la norma ordenada del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú, establece que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la ley.
- Ley de sistema de evaluación de impacto ambiental N° 27446, anexo I definiciones y reglamento de la ley N° 27446

- Decreto Supremo N° 074-2001-pcm, y su reglamento, donde se indica los valores establecidos para los Estándares Nacionales de Calidad ambiental de Aire.
- Decreto Supremo N°009-2003-SA. Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire.
- Decreto Supremo N° 003-2008 –MINAN, aprueba los Estándares de Calidad para Aire.
- Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM., Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. En la Tabla 2 se muestran los parámetros a medir.
- DIGESA: cumplimiento del protocolo de la calidad del aire y gestión de los datos - 2005.
- Norma Técnica Peruana, NTP-ISO 10498 2017. Aire ambiental. Determinación de dióxido de azufre. Método de fluorescencia ultravioleta.
- Decreto Supremo, D.S. 010-2019-MINAM. Protocolo de monitoreo de calidad del aire.

Tabla 12.

Decreto Supremo N°003-2017-MINAN, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias

| Parámetros | Período | Valor [µg/m³] | Criterios de evaluación | Método de análisis |
|--|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Benceno (C ₆ H ₆) | Anual | 2 | Media aritmética anual | Cromatografía de gases |
| Dióxido de Azufre (SO ₂) | 24 horas | 250 | NE más de 7 veces al año | Fluorescencia ultravioleta (Método automático) |
| Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) | 1 hora | 200 | NE más de 24 veces al año | Quimioluminiscencia (Método automático) |
| | Anual | 100 | Media aritmética anual | |
| | 24 horas | 50 | NE más de 7 veces al año | Separación inercial/filtración (Gravimetría) |

| | | | | |
|---|----------|-------|---|---|
| Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5}) | Anual | 25 | Media aritmética anual | |
| Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀) | 24 horas | 100 | NE más de 7 veces al año | Separación inercial/filtración (Gravimetría) |
| | Anual | 50 | Media aritmética anual | |
| Mercurio Gaseoso Total(Hg)[2] | 24 horas | 2 | No exceder | Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos) |
| Monóxido de Carbono (CO) | 1 hora | 30000 | NE más de 1 vez al año | Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático) |
| | 8 horas | 10000 | Media aritmética móvil | |
| Ozono (O ₃) | 8 horas | 100 | Máxima media diaria NE más de 24 veces al año | Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático) |
| Plomo (Pb) en PM ₁₀ | Mensual | 1.5 | NE más de 4 veces al año | Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica) |
| | Anual | 0.5 | Media aritmética de los valores mensuales | |
| Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S) | 24 horas | 150 | Media aritmética | Fluorescencia ultravioleta (Método automático) |

Otros valores importantes a considerar en el indicado por la OMS, que el 22 de septiembre de 2021, dieciséis años después desde su última revisión. La Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó sus guías actualizadas sobre la calidad del aire. Se trata de una actualización de las Guías de la OMS sobre la calidad del aire de 2005, que ofrecían una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud. Los valores fueron publicados en la página web de la OMS.

La actualización de los valores se muestra en la Figura 27:

Figura 27.

Nuevos valores de la calidad del aire para el 2021 por la OMS

| Contaminante | Período | Niveles 2005 | Nuevos niveles 2021 |
|---|----------------|--------------|---------------------|
| PM_{2,5} Partículas en suspensión < 2,5 micras | Anual | 10 | 5 |
| | 24 horas | 25 | 15 |
| PM₁₀ Partículas en suspensión < 10 micras | Anual | 20 | 15 |
| | 24 horas | 50 | 45 |
| O₃ Ozono | Temporada pico | - | 60 |
| | 8 horas | 100 | 100 |
| NO₂ Dióxido de nitrógeno | Anual | 40 | 10 |
| | 24 horas | - | 25 |
| SO₂ Dióxido de azufre | 24 horas | 20 | 40 |
| CO Monóxido de carbono | 24 horas | - | 4 |

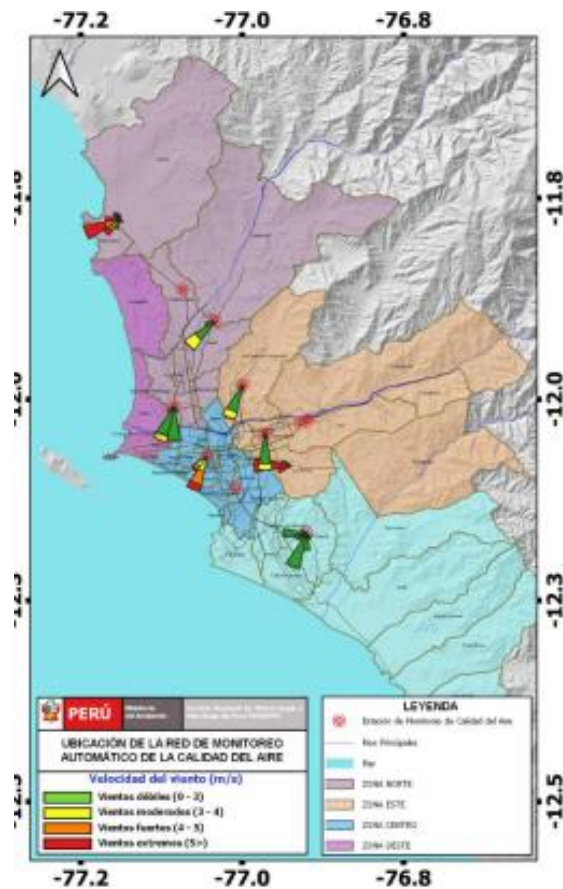
Fuente: Muestra valores de referencia para la calidad del aire. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>

2.4.2.1. Otras fuentes de emisión

La refinería se encuentra ubicada en la zona de Cajamarquilla dentro del distrito de Lurigancho-Chosica, siendo esta la parte más alta de la cuenca del río Huaycoloro; además por la ubicación es el receptor de toda la masa de aire proveniente del centro de Lima, debido a la dirección del viento predominante el cual es de sur a norte, como se muestra en la Figura 28

Figura 28.

Dirección del viento Dic2022 - Senamhi



Fuente: Vigilancia de la calidad del aire área metropolitana de Lima y Callao – dic 2021

Debido a las condiciones de dirección del viento que se tiene en el distrito, es importante evaluar las industrias cercanas o que se encuentran a barlovento de la unidad, estas pueden estar aportado gases al ambiente que inciden en los valores que mide la referiría.

Estas industrias dentro del proceso que tienen pueden emitir gases y partículas al ambiente, en la revista de Lacandonia, menciona que “la mezcla, moldeo y cocción en hornos, empleando combustibles y sistemas de combustión con muy baja eficiencia térmica, generan dioxinas y furanos, distintas especies de hidrocarburos volúmenes masivos de partículas, óxidos de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno” (Gómez, 2011), siendo el SO₂ el gas que está en evaluación en este estudio.

En Huachipa se cuentan con industrias ladrilleras y concreteras, muchas de las cuales son clandestinas y no tienen un plan de manejo ambiental para su proceso, o un control para sus emisiones, esto se ve reflejado en la Tabla 13, la cual muestra las denuncias que se tiene en la municipalidad de lima sobre la calidad del aire en la zona de Huachipa.

Tabla 13.
Denuncias ambientales del 2016 al 2021

| Denuncias ambientales contra las industrias ladrilleras y concreteras ingresadas a la Municipalidad de Lima (2016 - 2021) | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 2016 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | Total |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 6 | 16 |

Fuente: Adaptación del Informe N°D000631-2021-MML-GSCGA-SGA-DCAEA

Las industrias se encuentran comprendidas por la Asociación de Vivienda Casa Huerta El Paraíso de Huachipa, Los Huertos de San José, Asociación AMMEPPI Huachipa y Urbanización Progresiva San Valentín II ETAPA.

Las ladrilleras están concentradas en la Quinta Avenida o avenida 5 de agosto. Alrededor de esa avenida se encuentran ladrilleras importantes como Ladrillera Fortaleza (Las Torres, lote 22, Huachipa), Ladrillera Delta, Ladrítex S. A. C., Ladrillera MVT (Parcela Media, lote 8, Lurigancho), ladrillera Sagitario, Ladrillera Fortes (Mz. S-N, lote 27, Lurigancho), Ladrillera Nacional S. A. C. (Las Torres, lote 22), Ladrillera Huañec (Las Torres), Ladrillos Ital (La Capitana 20); además del almacén de Ladrillos Lark (Los Cisnes 275, Lurigancho).

Figura 29
Ubicación de ladrilleras



La municipalidad de Lima, en el INFORME N° D000877-2021-MML-GSCGA-SGA-DCAEA, realiza la evaluación de la calidad del aire en la zona de Huachipa, en el estudio se consideraron cuatro (04) puntos de medición de calidad de aire (P-01), (P-02), (P-03) y (P-04), los cuales se seleccionaron en base a los lineamientos acorde al protocolo de monitoreo de calidad de aire, así como por el grado de representatividad de los puntos, al ser estratégicos en las zonas que presentaron reiteradas denuncias por parte de los vecinos. Dentro de las conclusiones, se ha evidenciado, in situ, las emanaciones gaseosas y de partículas generada por las industrias ladrilleras, producto de sus actividades y la influencia que generan en la calidad ambiental del aire, superando los ECA Aire (PM2.5, PM10), como se describe en los párrafos precedentes; así como su influencia negativa en la población aledaña que coexiste con dicha problemática ambiental.

Además, indica que en el distrito de Lurigancho Chosica ha corroborado la existencia y funcionamiento de ladrilleras informales, es decir, las cuales no cuentan con licencia de

funcionamiento y/o autorización municipal del referido distrito, no obstante, continúan operando en el distrito a pesar de las condiciones indicadas. Dicha situación se da desde el año 2019 a la fecha, conforme se ha verificado in situ por este despacho.

III. APORTES

3.1. Evaluación del Monitoreo de la Calidad de Aire

Para el análisis de la calidad del aire, se tomaron en cuenta los monitoreos realizados desde enero del 2020 a diciembre del 2021. Se obtuvieron 22 datos por cada estación de monitoreo de calidad del aire, teniendo una pausa entre abril y mayo del 2020 por el estado de emergencia producto del covid. Los datos obtenidos son el promedio de 24 valores horarios que da el equipo en todo el programa mensual de monitoreo.

Entre las Tabla 14 y Tabla 18, se presentan las concentraciones diarias en ug/m³ de SO₂ de las estaciones de monitoreo.

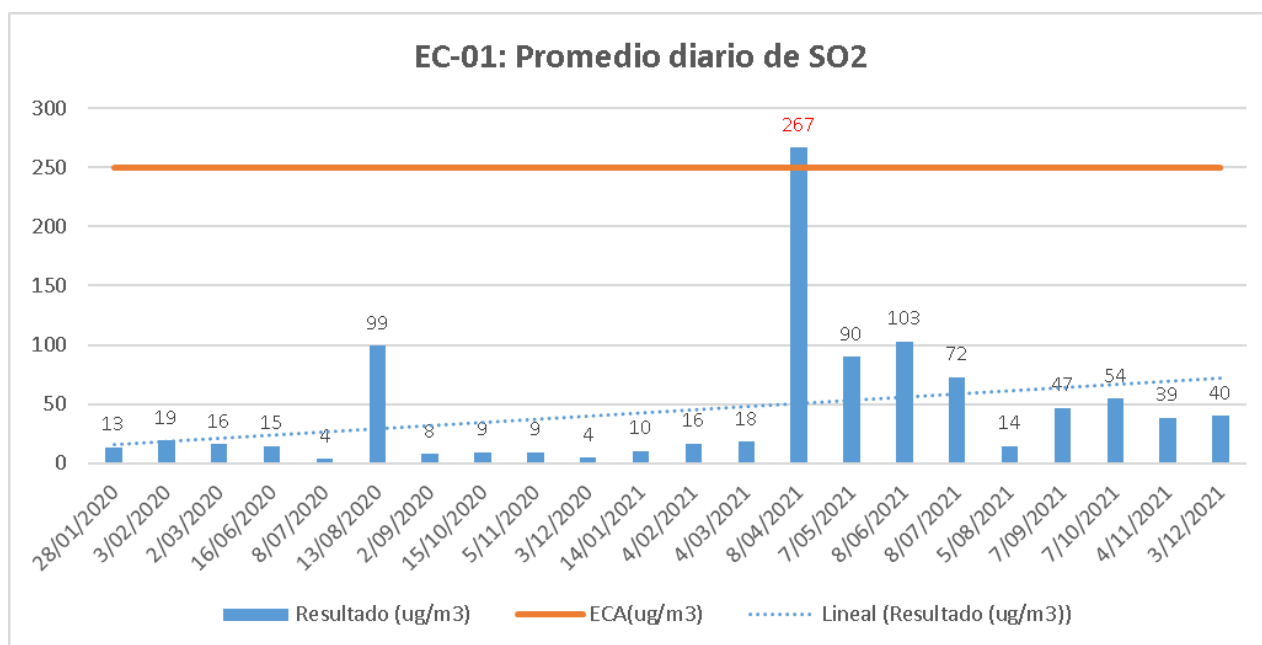
La Tabla 14 muestra las concentraciones de SO₂ de la estación EC-01, ubicada en la zona administrativa y a barlovento de la refinería. Los valores fueron tomados por un tiempo de 24 horas de manera ininterrumpida, bajo condiciones controladas para una correcta medición. Las concentraciones se encuentran por debajo del ECA de aire para SO₂ (250 ug/m³), salvo el monitoreo realizado el 08/04/2021 con un valor de 266 ug/m³. El menor valor fue captado el 08/07/2020 con 3.50 ug/m³, teniendo en estos 2 años un promedio de 44 ug/m³, el cual sería las concentraciones de SO₂ que ingresarían en promedio a la refinería y podría considerarse como una base para la zona de Huachipa. Se debe considerar que a 1000 m del punto se tiene una ladrillera clandestina, que tiene 3 chimeneas sin control ambiental que emiten sus gases con dirección a la refinería.

Tabla 14.
EC-1: Concentraciones diarias de SO₂

| Fecha de Muestreo | Hora de Muestreo | Resultado (ug/m3) | ECA (ug/m3) |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------|
| 28/01/2020 | 10:00:00 | 13 | 250 |
| 3/02/2020 | 11:00:00 | 19 | 250 |
| 2/03/2020 | 12:00:00 | 16 | 250 |
| 16/06/2020 | 13:00:00 | 15 | 250 |
| 8/07/2020 | 14:00:00 | 4 | 250 |
| 13/08/2020 | 16:00:00 | 99 | 250 |
| 2/09/2020 | 13:00:00 | 8 | 250 |
| 15/10/2020 | 13:00:00 | 9 | 250 |
| 5/11/2020 | 13:00:00 | 9 | 250 |
| 3/12/2020 | 14:00:00 | 4 | 250 |
| 14/01/2021 | 16:00:00 | 10 | 250 |
| 4/02/2021 | 13:00:00 | 16 | 250 |
| 4/03/2021 | 14:00:00 | 18 | 250 |
| 8/04/2021 | 16:00:00 | 267 | 250 |
| 7/05/2021 | 11:00:00 | 90 | 250 |
| 8/06/2021 | 12:00:00 | 103 | 250 |
| 8/07/2021 | 13:00:00 | 72 | 250 |
| 5/08/2021 | 13:00:00 | 14 | 250 |
| 7/09/2021 | 12:00:00 | 47 | 250 |
| 7/10/2021 | 12:00:00 | 54 | 250 |
| 4/11/2021 | 12:00:00 | 39 | 250 |
| 03/12/2021 | 10:00:00 | 40 | 250 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 30.
Concentraciones de SO₂ en la estación EC-01



Fuente: Elaboración propia

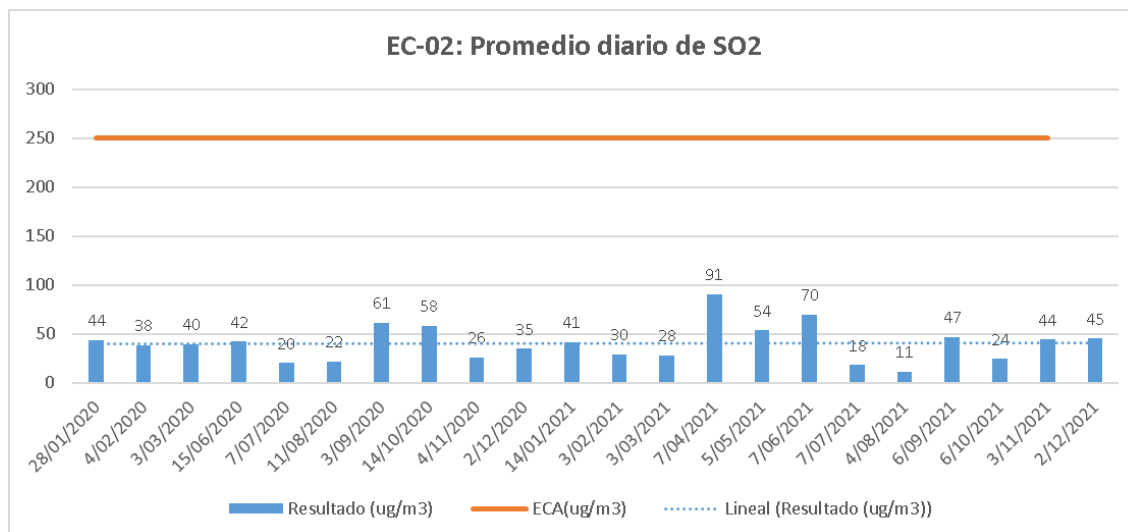
La Tabla 15 muestra las concentraciones de SO₂ de la estación EC-02, ubicada dentro de la unidad en la Poza N°5 a sotavento de los lavadores de gases. Los valores fueron tomados por un tiempo de 24 horas de manera ininterrumpida, bajo condiciones controladas para una correcta medición. Las concentraciones se encuentran por debajo del ECA de aire para SO₂ (250 ug/m³). El menor valor fue captado el 04/08/2021 teniendo un valor de 11 ug/m³ y el valor más alto fue el 7/04/2021 con 91 ug/m³, teniendo en estos 2 años un promedio de 40 ug/m³.

Tabla 15.
EC-2: Concentraciones diarias de SO₂

| Fecha de Muestreo | Hora de Muestreo | Resultado (ug/m³) | ECA (ug/m³) |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 28/01/2020 | 11:00:00 | 44 | 250 |
| 4/02/2020 | 14:00:00 | 38 | 250 |
| 3/03/2020 | 13:00:00 | 40 | 250 |
| 15/06/2020 | 15:00:00 | 42 | 250 |
| 7/07/2020 | 13:00:00 | 20 | 250 |
| 11/08/2020 | 12:00:00 | 22 | 250 |
| 3/09/2020 | 6:00:00 | 61 | 250 |
| 14/10/2020 | 16:00:00 | 58 | 250 |
| 4/11/2020 | 11:00:00 | 26 | 250 |
| 2/12/2020 | 15:00:00 | 35 | 250 |
| 14/01/2021 | 15:00:00 | 41 | 250 |
| 3/02/2021 | 13:00:00 | 30 | 250 |
| 3/03/2021 | 10:00:00 | 28 | 250 |
| 7/04/2021 | 15:00:00 | 91 | 250 |
| 5/05/2021 | 13:00:00 | 54 | 250 |
| 7/06/2021 | 10:00:00 | 70 | 250 |
| 7/07/2021 | 11:00:00 | 18 | 250 |
| 4/08/2021 | 12:00:00 | 11 | 250 |
| 6/09/2021 | 10:00:00 | 47 | 250 |
| 6/10/2021 | 10:00:00 | 24 | 250 |
| 3/11/2021 | 10:00:00 | 44 | 250 |
| 2/12/2021 | 09:00:00 | 45 | 250 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 31.
Concentraciones de SO₂ en la estación EC-02



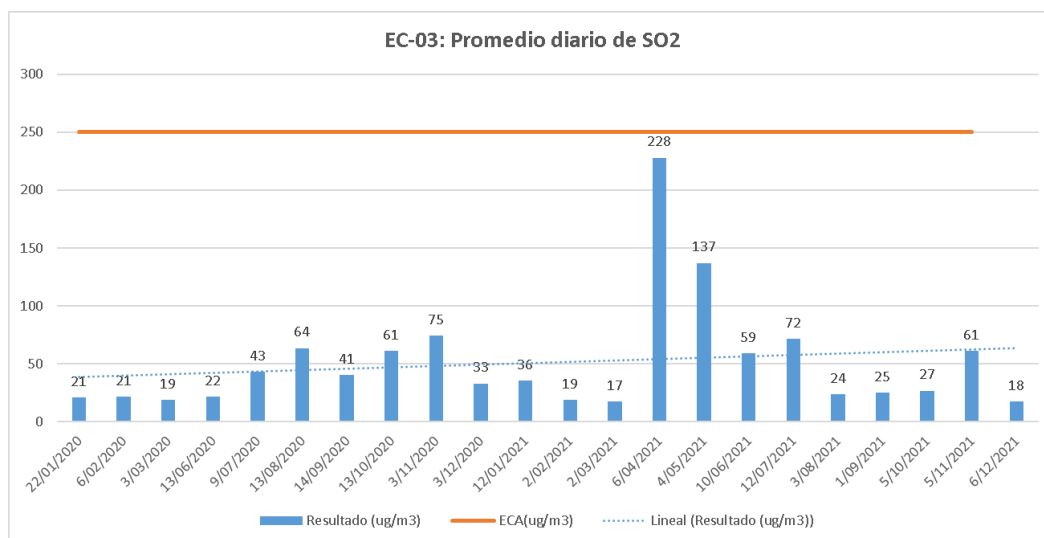
La Tabla 16 muestra las concentraciones de SO₂ de la estación EC-03, ubicada en el Radio observatorio de Jicamarca que pertenece al Ministerio del ambiente, este se encuentra fuera de la refinera y a sotavento. Los valores fueron tomados por un tiempo de 24 horas de manera ininterrumpida, bajo condiciones controladas para una correcta medición. Las concentraciones se encuentran por debajo del ECA de aire para SO₂ (250 ug/m³). El menor valor fue captado el 02/03/2021 con 17 ug/m³ y el valor más alto fue el 06/04/2021 con 228 ug/m³, teniendo en estos 2 años un promedio de 51 ug/m³, el cual sería las concentraciones de SO₂ que ingresarían en el Radio observatorio producto del aporte de la población, industrias (formales y clandestinas) y de los lavadores de gases de la refinera.

Tabla 16.
EC-3: Concentraciones diarias de SO₂

| Fecha de Muestreo | Hora de Muestreo | Resultado (ug/m3) | ECA (ug/m3) |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| 22/01/2020 | 11:00:00 | 21 | 250 |
| 6/02/2020 | 15:00:00 | 21 | 250 |
| 3/03/2020 | 15:00:00 | 19 | 250 |
| 13/06/2020 | 15:00:00 | 22 | 250 |
| 9/07/2020 | 16:00:00 | 43 | 250 |
| 13/08/2020 | 13:00:00 | 64 | 250 |
| 14/09/2020 | 16:00:00 | 41 | 250 |
| 13/10/2020 | 12:00:00 | 61 | 250 |
| 3/11/2020 | 09:00:00 | 75 | 250 |
| 3/12/2020 | 16:00:00 | 33 | 250 |
| 12/01/2021 | 14:00:00 | 36 | 250 |
| 2/02/2021 | 10:30:00 | 19 | 250 |
| 2/03/2021 | 09:00:00 | 17 | 250 |
| 6/04/2021 | 13:00:00 | 228 | 250 |
| 4/05/2021 | 10:00:00 | 137 | 250 |
| 10/06/2021 | 11:00:00 | 59 | 250 |
| 12/07/2021 | 16:00:00 | 72 | 250 |
| 3/08/2021 | 10:00:00 | 24 | 250 |
| 1/09/2021 | 10:00:00 | 25 | 250 |
| 5/10/2021 | 09:00:00 | 27 | 250 |
| 5/11/2021 | 13:00:00 | 61 | 250 |
| 6/12/2021 | 15:00:00 | 18 | 250 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 32
Concentraciones de SO₂ en la estación EC-03



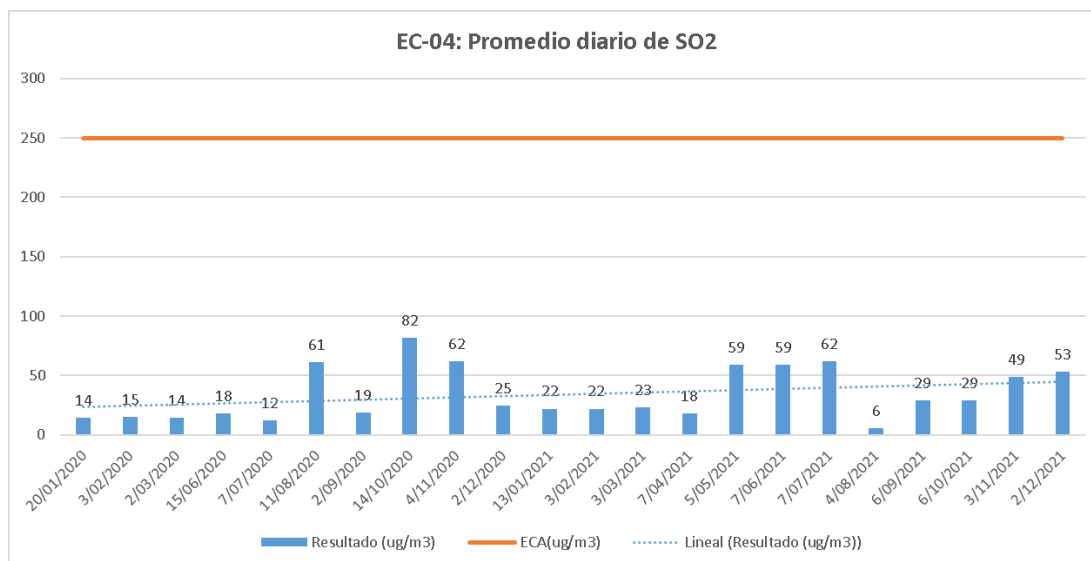
La Tabla 17 muestra las concentraciones de SO₂ de la estación EC-04, ubicada dentro de la unidad por la garita N°1 de ingreso del personal y a barlovento de la refinería. Los valores fueron tomados por un tiempo de 24 horas de manera ininterrumpida, bajo condiciones controladas para una correcta medición. Las concentraciones se encuentran por debajo del ECA de aire para SO₂ (250 ug/m³). El menor valor fue captado el 20/01/2020 con una concentración de 14 ug/m³ y el valor más alto fue el 14/10/2020 con 82 ug/m³, teniendo en estos 2 años un promedio de 34 ug/m³, el cual sería las concentraciones de SO₂ que estarían ingresando a la refinería, proveniente de la población y de las industrias cercanas.

Tabla 17.
EC-4: Concentraciones diarias de SO₂

| Fecha de Muestreo | Hora de Muestreo | Resultado (ug/m3) | ECA (ug/m3) |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| 20/01/2020 | 15:00:00 | 14 | 250 |
| 3/02/2020 | 10:00:00 | 15 | 250 |
| 2/03/2020 | 13:00:00 | 14 | 250 |
| 15/06/2020 | 11:00:00 | 18 | 250 |
| 7/07/2020 | 10:00:00 | 12 | 250 |
| 11/08/2020 | 16:00:00 | 61 | 250 |
| 2/09/2020 | 11:00:00 | 19 | 250 |
| 14/10/2020 | 11:00:00 | 82 | 250 |
| 4/11/2020 | 11:00:00 | 62 | 250 |
| 2/12/2020 | 12:00:00 | 25 | 250 |
| 13/01/2021 | 15:00:00 | 22 | 250 |
| 3/02/2021 | 11:00:00 | 22 | 250 |
| 3/03/2021 | 10:00:00 | 23 | 250 |
| 7/04/2021 | 15:00:00 | 18 | 250 |
| 5/05/2021 | 13:00:00 | 59 | 250 |
| 7/06/2021 | 10:00:00 | 59 | 250 |
| 7/07/2021 | 11:00:00 | 62 | 250 |
| 4/08/2021 | 12:00:00 | 6 | 250 |
| 6/09/2021 | 10:00:00 | 29 | 250 |
| 6/10/2021 | 10:00:00 | 29 | 250 |
| 3/11/2021 | 10:00:00 | 49 | 250 |
| 2/12/2021 | 09:00:00 | 53 | 250 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33
Concentraciones de SO₂ en la estación EC-04



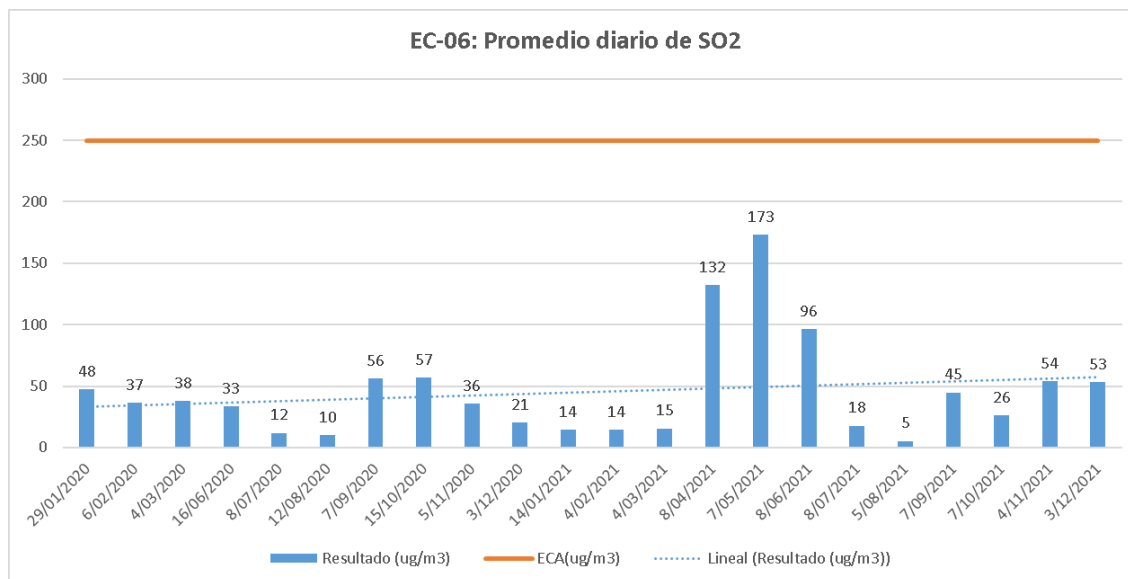
La Tabla 18 muestra las concentraciones de SO₂ de la estación EC-06, ubicada fuera de la unidad por la Poza N°6, al NE de los lavadores de gases y a sotavento de la refinera. Los valores fueron tomados por un tiempo de 24 horas de manera ininterrumpida, bajo condiciones controladas para una correcta medición. Las concentraciones se encuentran por debajo del ECA de aire para SO₂ (250 ug/m³). El menor valor fue captado el 05/08/2020 con una concentración de 5 ug/m³ y el valor más alto fue el 07/05/2021 con 173 ug/m³, teniendo en estos 2 años un promedio de 34 ug/m³, el cual sería las concentraciones de SO₂ producto del aporte de la población, industrias (formales y clandestinas) y de los lavadores de gases de la refinera.

Tabla 18.
EC-6: Concentraciones diarias de SO₂

| Fecha de Muestreo | Hora de Muestreo | Resultado (ug/m³) | ECA (ug/m³) |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 29/01/2020 | 12:00:00 | 48 | 250 |
| 6/02/2020 | 10:00:00 | 37 | 250 |
| 4/03/2020 | 15:00:00 | 38 | 250 |
| 16/06/2020 | 16:00:00 | 33 | 250 |
| 8/07/2020 | 15:00:00 | 12 | 250 |
| 12/08/2020 | 14:00:00 | 10 | 250 |
| 7/09/2020 | 10:00:00 | 56 | 250 |
| 15/10/2020 | 18:00:00 | 57 | 250 |
| 5/11/2020 | 13:00:00 | 36 | 250 |
| 3/12/2020 | 16:00:00 | 21 | 250 |
| 14/01/2021 | 17:00:00 | 14 | 250 |
| 4/02/2021 | 14:00:00 | 14 | 250 |
| 4/03/2021 | 14:00:00 | 15 | 250 |
| 8/04/2021 | 16:00:00 | 132 | 250 |
| 7/05/2021 | 11:00:00 | 173 | 250 |
| 8/06/2021 | 12:00:00 | 96 | 250 |
| 8/07/2021 | 13:00:00 | 18 | 250 |
| 5/08/2021 | 13:00:00 | 5 | 250 |
| 7/09/2021 | 12:00:00 | 45 | 250 |
| 7/10/2021 | 12:00:00 | 26 | 250 |
| 4/11/2021 | 12:00:00 | 54 | 250 |
| 3/12/2021 | 12:00:00 | 53 | 250 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34.
Concentraciones de S02 en la estación EC-06



3.2. Evaluación de la meteorología

En la evaluación de la meteorología de la zona de estudio, se consideró el uso de información del 2020, la cual fue adquirida a la empresa Lakes Environmental y procesada por el programa Calmet. Calmet, es un paquete de modelamiento meteorológico para el diagnóstico y pronóstico para los campos de vientos. Se definió un área de dominio que cubre una extensión de 40 km por 40 km (1600 km²), tal como se puede apreciar en la Figura 35 y Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Los perfiles de campo de vientos fueron generados usando la información meteorológica del modelo de meso-escala WRF.

Se utilizó el sistema de modelación CALMET-CALPUFF, el cual basándose en las potencialidades del mismo: sus parametrizaciones para terrenos complejos, la posibilidad de simular varias especies y su no estacionalidad (Scire, 2000).

El programa CALMET-CALPUFF está constituido por un modelo meteorológico en el cual están agrupados un módulo de campo de vientos diagnóstico y módulos micrometeorológicos para las capas límite sobre agua y sobre tierra (Hernandez, 2013).

Si bien, para la evaluación del informe se utilizó el programa CALMET, para conocer los campos de vientos que se desarrollan en la zona de influencia de la refinería, el CALMET es parte del programa CALPUFF.

El modelo Calpuff es de propiedad intelectual de la compañía LAKES ENVIRONMENTAL SOFTWARE, teniendo como autores principales a: Jesse L. Thé, Ph.D., P.Eng., Cristiane L. Thé, M.A.Sc., Michael A. Johnson, B.Sc.; el modelo es una combinación entre modelos Gaussianos y Lagrangianos que calcula la dispersión de una emisión instantánea de contaminantes a lo largo de una trayectoria.

Figura 35.
Malla meteorológica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36.

Dirección del viento



Fuente: Refinería de Cajamarquilla.

3.2.1. Viento

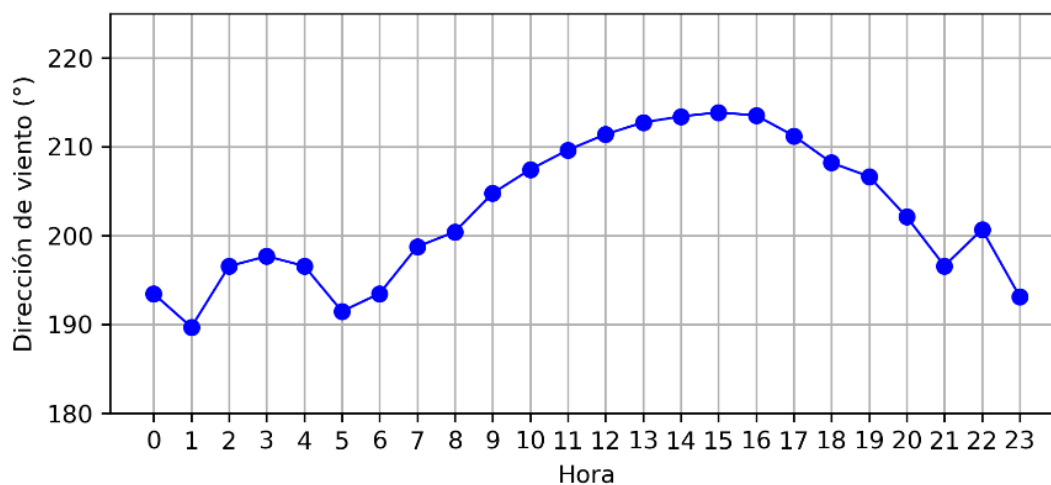
El viento desarrolla un papel importante en los procesos de dispersión de contaminantes en la atmósfera, cuando la velocidad del viento aumenta, se tiene un volumen mayor de masas de aire en desplazamiento, enviando los contaminantes de un lado a otro, generando que la concentración de los contaminantes disminuya, a medida que se aleja de la fuente.

Cuando los vientos son débiles, la elevación de la pluma es mayor que para vientos fuertes. Por otro lado, vientos débiles generan una mínima dilución, mientras que vientos fuertes proporcionan considerable dispersión.

Sobre la zona de estudio, el Anticiclón del Pacífico Sur es el principal modulador de la dirección y velocidad de viento dentro de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. No obstante, el comportamiento de los vientos de superficie también es modulado por las condiciones topográficas del lugar. En su variación horaria, las condiciones de mayor estabilidad e inestabilidad atmosférica (durante el día y noche, respectivamente) también tienen influencia en la caracterización del viento. Este fenómeno establece que en toda la costa peruana tengamos proceso de inversión térmica durante todo el año, espesor e intensidad variable entre los 255 m.s.n.m. y un tope de 1490 m.s.n.m., además, de generar una velocidad del viento superficial varía entre 3 y 5 m/s con 4 a 8% de calmas, de direcciones S, SSO y SSE en la zona costera (Comisión Multisectorial para la gestión de la iniciativa del aire limpio, 2021).

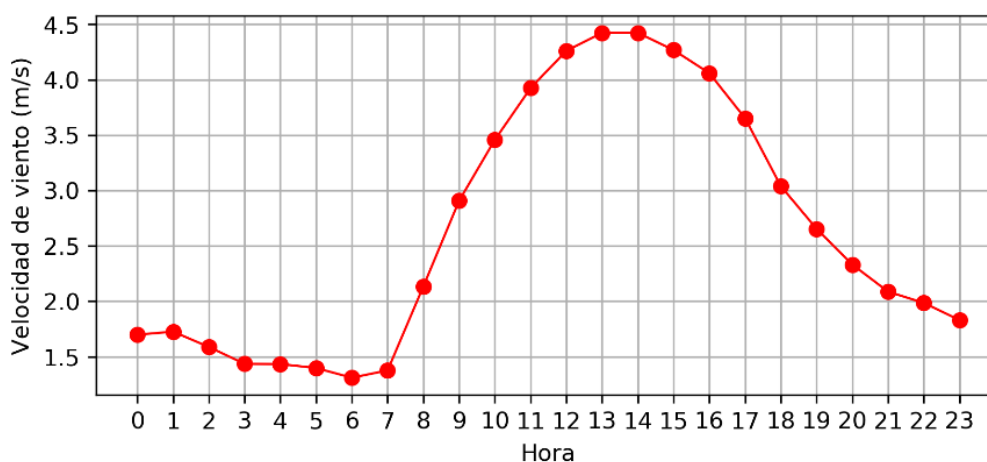
En función a la Figura 37, se observa que en promedio la dirección del viento sobre la zona de estudio oscila alrededor de los $\approx 195^\circ$ (principalmente sur) entre las 0 y 6 horas, y cambia hacia una dirección más suroeste ($\approx 210^\circ$) hacia horas de la tarde (entre las 13 y 17 horas). Tras este rango de horas, la dirección del viento tiene una tendencia a ser principalmente del sur.

Figura 37.
Variación de la dirección del viento



En cuanto a la velocidad de viento, la Figura 38 también permite identificar que las mayores velocidades de viento ocurren durante horas de la tarde. En promedio, entre las 0 y 7 horas, la velocidad del viento no es mayor a 2 m/s. A partir de las 8 horas, la velocidad de viento se incrementa continuamente, de forma que valores mayores a 4 m/s ocurren principalmente entre las 12 a 16 horas. Tras las 16 horas la velocidad del viento empieza nuevamente a disminuir hasta alcanzar valores no mayores de ≈ 2 m/s entre las 22 y 23 horas.

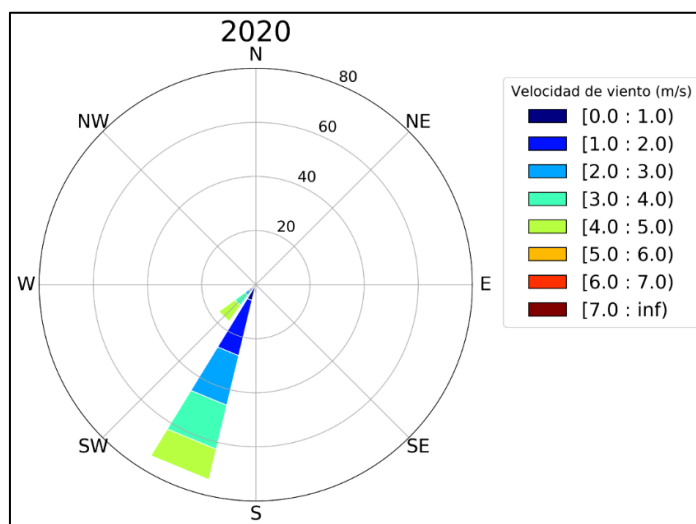
Figura 38
Variación de la dirección y velocidad del viento



Elaboración propia

El comportamiento anual del viento es representado en la Figura 39. Para el año 2020, los principales vientos fueron del sursuroeste, con una frecuencia mayor al 75%. Los vientos provenientes de esta dirección alcanzaron magnitudes de aproximadamente 4 y 5 m/s. Por otro lado, la segunda mayor frecuencia de vientos fue del suroeste ($\approx 20\%$), donde la velocidad del viento mayoritariamente oscila entre 4 y 5 m/s.

Figura 39.
Rosa de viento anual (2020)

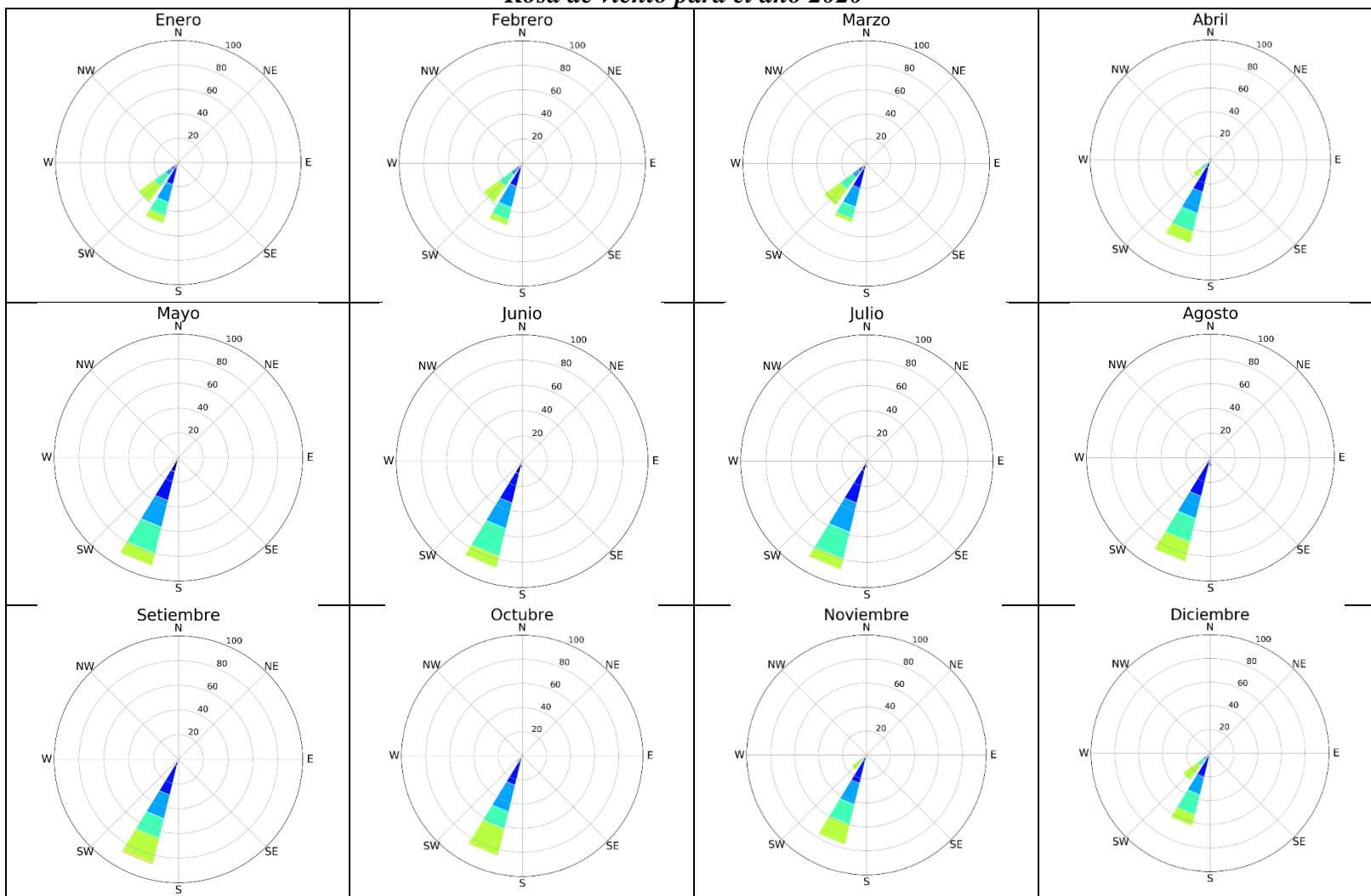


La Figura 40 presenta la evolución mensual del comportamiento del viento sobre la zona de estudio. Durante los meses de enero a marzo, los vientos provienen principalmente de dos direcciones. Los vientos del sursuroeste que poseen ligeramente mayor frecuencia ($\approx 50\%$), con velocidades que oscilan principalmente entre 2 uroeste, no obstante, esta última posee la mayor frecuencia (mayor al 60%). En cuanto a las velocidades de viento, estas presentaron un comportamiento similar a lo descrito durante enero a marzo.

En cuanto a los meses de mayo hasta octubre, la principal dirección del viento fue del sursuroeste, con una frecuencia mayor al 80% durante todos estos meses. La distribución de la velocidad de viento durante estos meses fue similar, predominando vientos entre 2 y 5 m/s, principalmente. Sin embargo, durante setiembre y octubre existió un incremento del viento, registrándose intensidades del orden de 5 y 6 m/s. Este incremento de la velocidad del viento durante el mes de setiembre y octubre, asociado a la intensificación climatológica del Anticiclón del Pacífico Sur oriental, generó mayores flujos del sur.

Cabe destacar que, entre el mes de setiembre y octubre del 2020, incrementos episódicos del Anticiclón del Pacífico Sur junto a configuraciones favorables del mismo, propiciaron el incremento de los vientos en el litoral costero, por lo que se registraron magnitudes en el orden de 5 a 6 m/s.

Figura 40.
Rosa de viento para el año 2020



3.3. *Reporte de condiciones meteorológicas*

La refinería al tener emisiones de gases al ambiente, necesita evaluar las mejores condiciones meteorológicas para una correcta dispersión de los gases. La dispersión de gases se da de manera horizontal y vertical, un factor importante para la dispersión horizontal es la velocidad y dirección del viento, para un factor vertical estaría definido por la estabilidad atmosférica. Otro factor que influye en la dispersión son las condiciones topográficas, la presencia compleja de cerros, montañas influyen en el grado de dispersión.

Los factores mencionados no pueden ser controlados por la refinería, solo es posible conocerlos y entenderlos para en base a ellos, definir procesos productivos.

Por tal, dentro de las funciones de coordinador ambiental, se genera un reporte ambiental de las condiciones meteorológicas como medidas predictivas, para una mejor condición de dispersión de los gases, el reporte se da los lunes y viernes con una predicción de 5 días.

Las variables indicadas en el reporte son las siguientes:

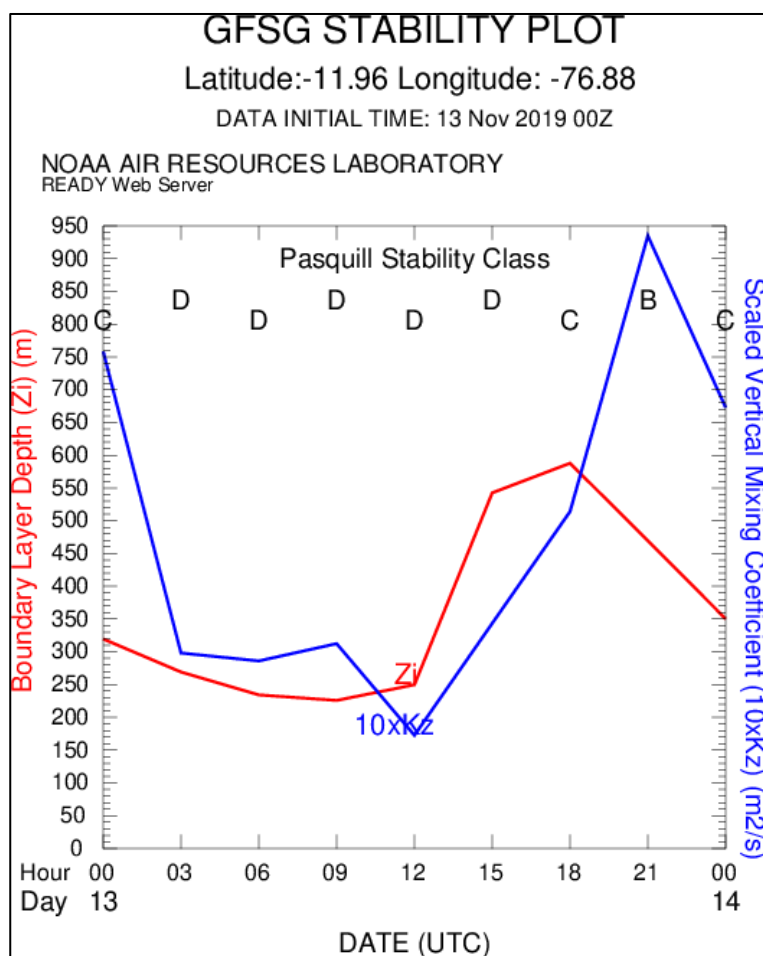
- **Estabilidad de Pasquill**

La estabilidad de pasquill define las condiciones de estabilidad atmosférica, teniendo condiciones de extremadamente inestable (A) que son condiciones óptimas de dispersión, a moderadamente estable (F) donde no se tienen condiciones. También se reporta la altura de la capa límite de mezcla, factor importante cuando se tiene un cerro próximo a las chimeneas de emisión de gases. Los reportes se obtienen de la página

<https://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>, la cual es de acceso libre para cualquier parte del mundo. La figura Figura 41. muestra en el eje horizontal las horas del día, esto depende de la cantidad de días a evaluar, en el eje vertical, se tiene el coeficiente de mezcla vertical que se relaciona a estabilidad de pasquill de color azul, además de la capa límite de mezcla que aparece de color rojo. La capa límite de mezcla es importante conocer debido al cerro que se encuentra al norte de las chimeneas de gases, tiene un desnivel de 250 m aproximadamente, siendo este un tope para la dispersión de los gases en horas de la mañana, donde se tiene una capa límite que varía entre 200 a 300 m, sobre el punto de evaluación.

Figura 41.

Estabilidad de Pasquill

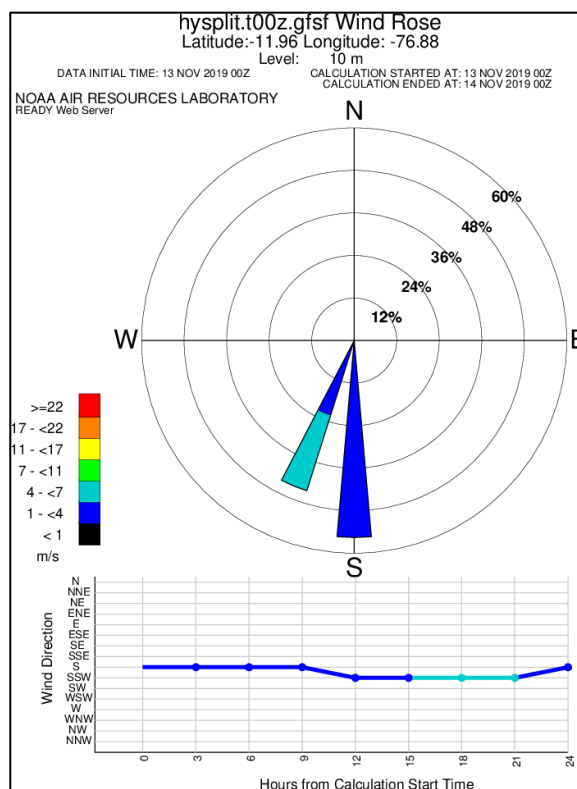


- **Rosa de vientos**

La rosa de viento muestra de manera gráfica la distribución de la velocidad y dirección del viento en forma circular, de un lugar dado (refinería) y en tiempo determinado (5 días). Se evidencia con una trama de colores la velocidad alcanzada en una dirección determinada, ayudando a poder conocer la dirección en donde los gases se estarían dispersando. Además, muestra la dirección del viento en las diferentes horas evaluadas.

Figura 42.

Rosa de vientos



3.4. Discusión de resultados

El estudio describe los valores encontrados en los monitoreos ambientales para el parámetro SO₂, como parte del cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos en los instrumentos ambientales.

Los valores obtenidos en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire, evidencian en los puntos de control de la calidad del aire, no se ha sobrepasado el Estándar de calidad del aire para SO₂, que establece tener un valor menor a 250 ug/m³ y no exceder 7 veces al año. Con los datos obtenidos es posible determinar que los controles ambientales aplicados para la calidad del aire, cumplen la función de no generar un cambio sustancial en las concentraciones de SO₂ a sotavento. Es importante entender que los puntos fueron diseñados como control ambiental al proceso productivo de la refinería, mas no determinar la contaminación de toda la cuenca atmosférica de Lurigancho.

Los resultados evidencian un aumento no significativo de la concentración de SO₂ a sotavento de la refinería, lo cual es aceptable ya que el principal componente de las emisiones atmosféricas de la refinería es el SO₂, produciendo un aumento en las concentraciones de fondo en la zona de Huachipa.

En la zona de Huachipa se tienen pocos estudios relacionados a las concentraciones de SO₂, a pesar de tener ladrilleras clandestinas, que presentan hornos donde se tienen chimeneas que emiten altas concentraciones de SO₂ al ambiente, generando un aumento de las concentraciones normales de SO₂ en toda la zona a barlovento a la refinería. Huaynatis (2019), en la tesis realizada en Huachipa evidencia que el modelo de dispersión usado, da como resultado un valor máximo de 708,30 ug/m³ y un promedio diario de 400 ug/m³ de SO₂ en la población producto de las emisiones de una ladrillera. Estos valores son mucho más altos a los encontrados en estaciones de Senamhi ubicadas antes de las ladrilleras, estando los valores más altos en los rangos de 15.2 y 17.9 µg/m³. (Román & Sánchez, 2015).

Se debe tener en cuenta los aportes de SO₂ por parte de otras fuentes, las cuales provienen de las actividades antropogénicas donde se tiene combustión con carbón y petróleo,

que son más del 50 % de las emisiones de SO₂ al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2014), además se consideran las fuentes de generación de energía, refinerías y fuentes de consumo de carbón, residual y Diesel (Dirección general de salud ambiental, 2005).

La evaluación de la meteorología da como resultado una dirección de viento proveniente de suroeste y sursuroeste en todo el año, por ello es importante conocer las industrias clandestinas, tránsito vehicular y otros componentes que están ubicados a barlovento de la refinería, pues podrían estar afectando en los puntos de control ambiental. Siendo la velocidad y dirección del viento un valor importante para la dispersión de contaminantes, en la Zona de Huachipa (Quispe, 2017).

El mapa de vientos se pudo determinar la dirección de las masas de aire predominantes en la zona de Huachipa, dejando ver que para el punto EC-03, recibe aportes de concentraciones de SO₂ de la refinería y de la zona industrial ubicada a la margen derecha del río Huaycoloro.

IV. Conclusiones

- El promedio de las concentraciones de dióxido de azufre en las 5 estaciones está en un rango de 34 a 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual está dentro del límite establecido por el ECA de Aire con 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y por encima del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- El promedio diario más alto para las concentraciones de SO_2 se encontró en la estación EC-03, ubicado a sotavento de la refinería, con un valor de 288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Se determinó que las emisiones de SO_2 producto del proceso productivo de la refinería en los días monitoreados, no impactan significativamente en las concentraciones medidas en los puntos ubicados a sotavento, debemos tener en cuenta que las mediciones se realizaron cuando la planta de tostación, operaba en condiciones normales.
- Se pudo establecer que en la zona de Huachipa se tienen otros agentes aportantes de SO_2 , teniendo como principales fuentes las ladrilleras ubicadas a barlovento de la refinería, las cuales fueron detectadas por la Municipalidad Metropolitana de Lima.
- Se determinó que los parámetros meteorológicos del centro poblado Santa María de Huachipa, la dirección del viento predominante proveniente del Sur sureste (SSE) y la velocidad del viento va en un rango de 4 y 5 m/s, determinando que cualquier actividad que pueda ser generado por la refinería, la afectación se daría en la parte alta de la cuenca, zonas donde no se tiene vegetación o poblaciones cercanas.

V. Recomendaciones

- Desarrollar estudios técnicos adicionales y de mayor duración sobre la calidad del aire en la Zona de Huachipa, que permitan establecer un diagnóstico real de los niveles de los contaminantes atmosféricos presentes generados por las ladrilleras clandestinas.
- Continuar con los reportes de evaluación meteorológica para procesos productivos, considerando momentos con las mejores condiciones de dispersión.
- La red de muestreo para una correcta evaluación debe estar establecida en base a criterios que rigen los objetivos de medición, los criterios establecidos para la red de monitoreo de la refinería, se basan en la vigilancia ambiental del cumplimiento a los compromisos ambientales asumidos para un correcto manejo ambiental, mas no para ser considerados como referencia para definir la calidad del aire de la zona de Huachipa.
- Revisar la red de monitoreo de la calidad del aire indicada en los instrumentos ambientales, la estación EC-03 al estar fuera de la unidad y a sotavento, puede ser influenciada por masas de aire provenientes de la comunidad, donde existen industrias que dentro de su proceso de producción usan combustibles fósiles pesados.

VI. Referencias

- Abel Edu Sotomayor Torres, G. M. (2010). *Evaluación e interpretación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido [de] azufre en Lima Metropolitana*. Lima.
- Ambiente, C. P. (2005). DIRECTRICES PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE ACCIÓN LOCALES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE. *Conam*, 46.
- Bard, C. (2004). *Química ambiental*. España: Reverté S.A.
- Carmen Orozco Barrenetxea, A. P. (2002). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. España: Thomson Editores Spain Paraninfo S.A.
- CAYCHO BUSTAMANTE MILAGROS KARINA. (2018). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ALERTA AMBIENTAL PREVENTIVA EN LA CALIDAD DE AIRE (DIÓXIDO DE AZUFRE Y PLOMO) EN LA CIUDAD DE LA OROYA*. La Oroya.
- Cesar Gómez, N. F. (2011). Estudio exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *LACANDONIA*, 8.
- Comisión Multisectorial para la gestión de la iniciativa del aire limpio. (2021). *Plan de acción para el mejoramiento de la calidad del aire Lim-Callao 2021-2025*. Peru.
- Diaz, O. B. (2000). *EFECTOS DEL DIÓXIDO DE AZUFRE Y DEL OZONO EN Pinus halepensis Mill. EN CÁMARAS ABIERTAS (Open-top Chambers)*. Barcelona.
- Dirección general de salud ambiental. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Lima.
- Elkin Martinez Lopez, C. M. (2007). Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población. *Centro de Investigaciones. Facultad Nacional de Salud Publica*, 109.
- EPA. (s.f.). *www.epa.gov*. Obtenido de <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>
- Espert Alemany, V. (2004). *Dispersión de contaminantes en la atmósfera*. Mexico: Alfaomega.
- Europa, O. M. (2000). *Pautas de calidad del aire para Europa*,. Europa: Publicaciones Regionales de la OMS.
- Gigosos, J. L. (2005). Contaminación Atmosférica, Morbilidad y Mortalidad en la ciudad de Albacete . *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 8.
- Heli A. Arregoces, Y. I. (2018). Evaluación del CALPUFF para Estimar Concentraciones Ambientales de PM 10 de una Cantera en Terrenos Complejos. *Scielo*, 12.
- Hernandez, M. F. (2013). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de pinar del Río. *Revista Brasileira de Meteorologi*, 12.
- Huaynatis, N. (2019). Modelamiento de la dispersión de gases utilizando el Aermod versión 8.9 y su relación con los parámetros meteorológicos del Centro Poblado Santa Maria de Huachipa, 2019. (*Tesis de grado*). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Kenneth Wrak, C. F. (1998). *Contaminacion del aire. Origen y Control*. Mexico: Limusa S.A.
- Labaca, I. G. (2005). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad y morbilidad por enfermedad respiratoria en la ciudad de Madrid. *Instituto de Salud Pública, Consejería de Sanidad y Consumo de la Comunidad de Madrid*.
- López, I. G. (2008). *Desarrollo Sostenible*. España: Elearning S.L.
- Marco Antonio Reyna Carranza, M. Q. (2003). Análisis de la relación del PM10 con las enfermedades respiratorias en la población urbana de Mexicali, Baja California: Un estudio de series de tiempo. *Mexican Journal of Biomedical Engineering*, 125.

- Mario E. García G.1, H. U. (2006). INFLUENCIA DE LOS CONTAMINANTES SO₂ Y NO₂ EN LA FORMACIÓN DE LLUVIA ÁCIDA EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 17.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014*. Lima.
- Odón Román Sánchez Ccoyllo, C. G. (2015). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA 2015. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)*, 90.
- OMS. (2016). <https://www.paho.org/>. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>
- ONU. (2021). https://www.un.org. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- P. AARNE VESILIND, S. M. (2010). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Pablo Masías, F. A. (2018). Implementación de la Red de monitoreo de SO₂ (DOAS) en los volcanes activos del Perú (Ubinas y Sabancaya). *Observatorio Vulcanológico del INGEMMET*, 112.
- Quispe, P. E. (2017). *Las variables meteorológicas y su influencia en la dispersión de material sedimentable emitido por las ladrilleras. Nievería-Huachipa, 2017*. Lima.
- Rina Liz Iparraguirre Medina, A. G. (2018). *CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA DE LAS LADRILLERAS EN HUACHIPA-LURIGANCHO-LIMA. 2018*. Lima.
- SACHS, J. (2015). *La era del Desarrollo Sostenible*. España: EDICIONES DEUSTO.
- salud, O. m. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. *Resumen de evaluación de riesgos*, 25.
- Scire, J. S. (2000). *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5.0)*. TRC Environmental Corporation.
- Senamhi. (s.f.). web2.senamhi.gob.pe. Obtenido de <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=calidad-de-aire-aprendiendo>
- University, S. H. (s.f.). <https://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/beers1.htm>.

VII. ANEXOS

ANEXO 01: Planos



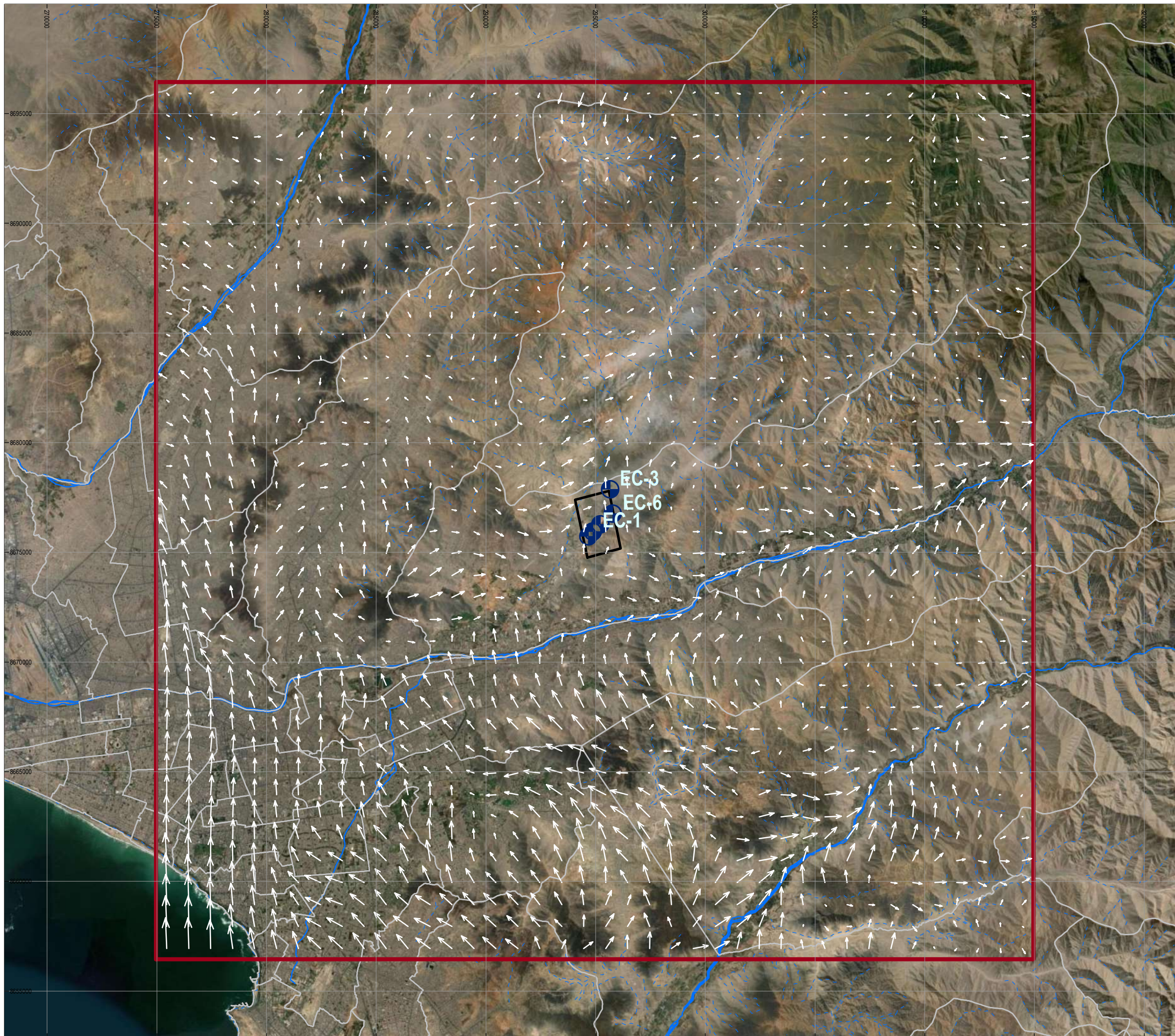
LEYENDA

- CAPITAL PROVINCIAL
- - - Quebrada
- Rio
- CONCESION
- INDUSTRIAS

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **UBICACIÓN DE LADRILLERAS**

| | | | |
|-----------------|------------------|--------------------------|-------------|
| | | PROYECTO N°: 1056-01 | REVISIÓN: 0 |
| | | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | REVISADO: C. TRUJILLO | 1.3 |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:50.000 | APROBADO: E. JURADO | |



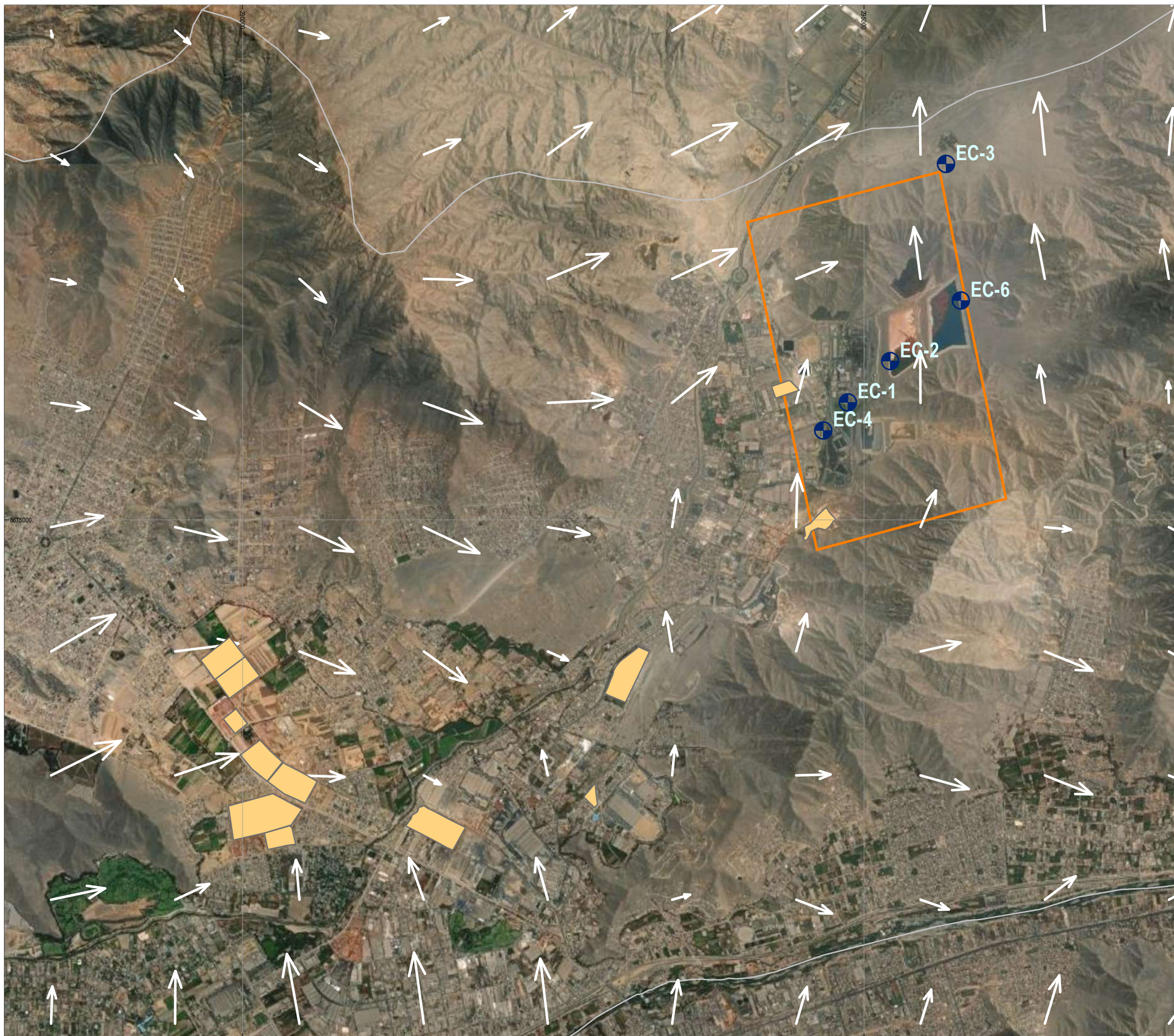
LEYENDA

- Quebrada
- Rio
- DISTRITOS
- CONCESION
- MALLA METEOROLÓGICA
- DIRECCION DEL VIENTO
- ⊕ PUNTOS DE MONITOREO

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **MALLA METEOROLÓGICA**

| | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------------|-------------|
| | | PROYECTO N°: 10056-01 | REVISIÓN: 0 |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:170.000 | DIBUJADO: C. TRUJILLO | 1.4 |
| | | REVISADO: C. TRUJILLO | |
| | | APROBADO: E. JURADO | |




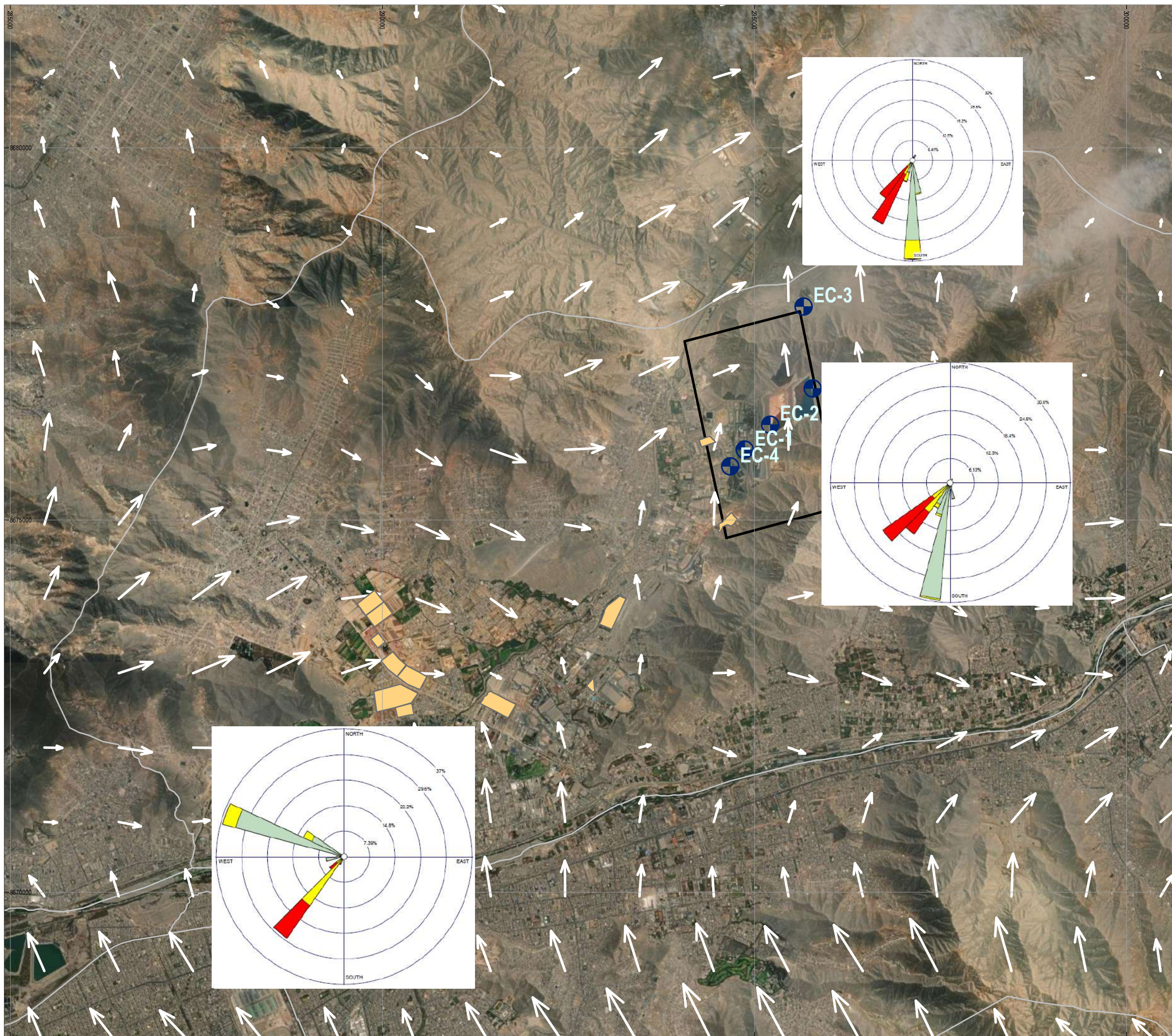
LEYENDA

- DISTRITOS
- CONCESION
- MALLA METEOROLÓGICA
- LADRILLERAS
- DIRECCION DEL VIENTO
- DIRECCION DEL VIENTO
- + PUNTOS DE MONITOREO

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **DIRECCIÓN DEL VIENTO ANUAL**

| | | | |
|---|---|--------------------------|-------------|
|  |  | PROYECTO N°: 10056-01 | REVISIÓN: 0 |
| | | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | DIBUJADO: C. TRUJILLO | 1.5 |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:30.000 | REVISADO: C. TRUJILLO | |
| | | APROBADO: E. JURADO | |



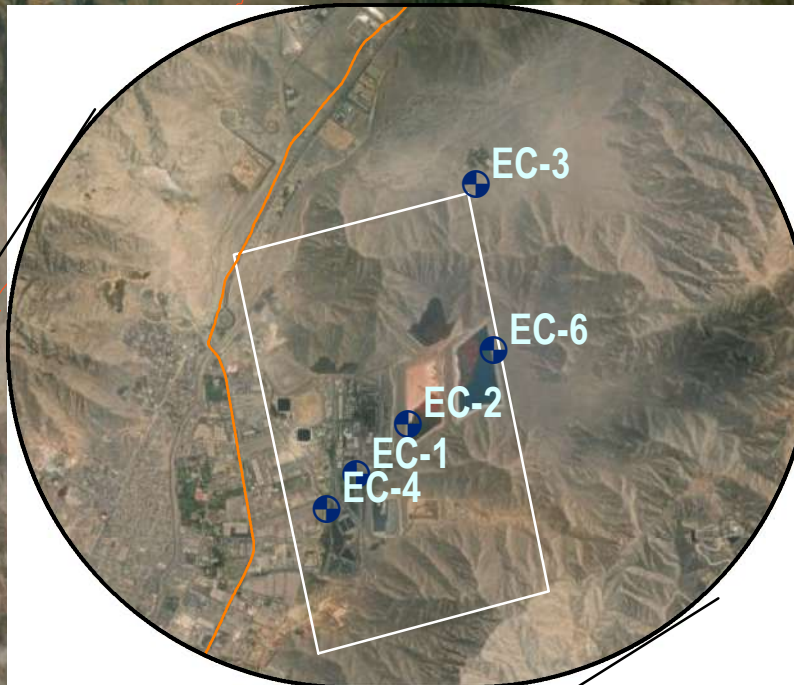
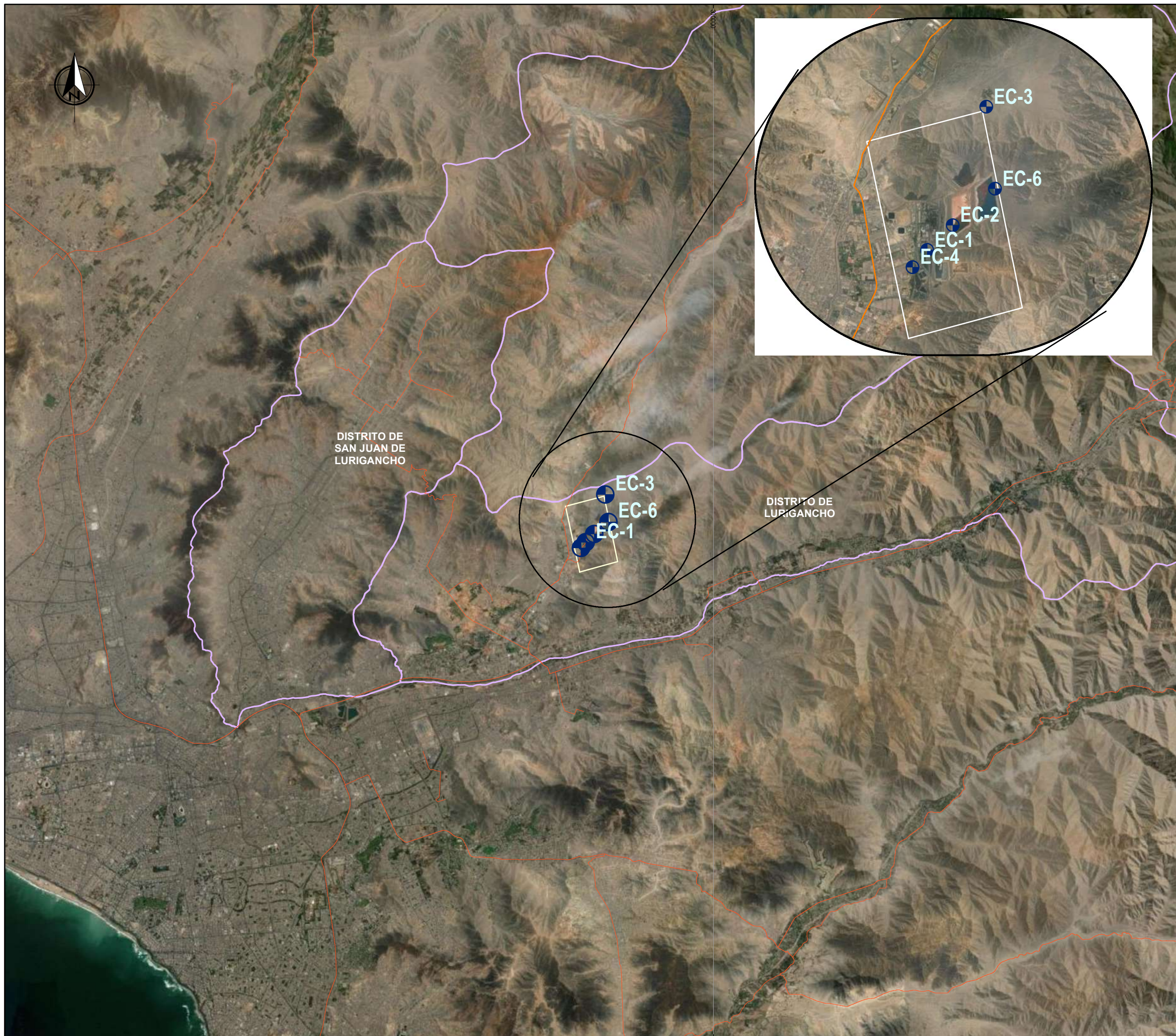
LEYENDA

- DISTritos
- CONCESION
- MALLA METEOROLÓGICA
- DIRECCION DEL VIENTO
- LADRILLERAS
- PUNTOS DE MONITOREO

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **ROSAS DE VIENTO**

| | | | |
|-----------------|------------------|--------------------------|-------------|
| | | PROYECTO N°: 10056-01 | REVISIÓN: 0 |
| | | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | DIBUJADO: C. TRUJILLO | 1.6 |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:50.000 | REVISADO: C. TRUJILLO | |
| | | APROBADO: E. JURADO | |



LEYENDA

- RED VIAL NACIONAL
- DISTRITOS
- CONCESION
- PUNTOS DE MONITOREO

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **UBICACIÓN GENERAL**

| | | | |
|---|---|--------------------------|-------------|
|  |  | PROYECTO N°: 10056-01 | REVISIÓN: 0 |
| | | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | DIBUJADO: C. TRUJILLO | 1.1 |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:150,000 | REVISADO: C. TRUJILLO | |
| | | APROBADO: E. JURADO | |



LEYENDA

- CAPITAL PROVINCIAL
- Quebrada
- Rio
- DISTRITO_WGS18
- caminos_mtc
- CONCESION
- ⊕ PUNTOS DE MONITOREO

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**
 TESIS PARA INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO: **PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE**

| | | | |
|---|---|--------------------------|-------------|
|  |  | PROYECTO N°: 10056-01 | REVISIÓN: 0 |
| | | FECHA EMISIÓN: MAYO 2022 | MAPA N°: |
| PROYECCIÓN: UTM | ZONA: 18S | DIBUJADO: C. TRUJILLO | 1.2 |
| DATUM: WGS84 | ESCALA: 1:15,000 | REVISADO: C. TRUJILLO | |
| | | APROBADO: E. JURADO | |