



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ

MANUEL FÉLIX LÓPEZ

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MEDIO AMBIENTE**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**MODELACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM_{2.5} Y NO_x) EMITIDOS
POR FISHCORP EN LA CIUDAD DE JARAMIJÓ – 2021**

AUTORES:

**MARTÍN ELÍAS LOOR PATIÑO
JENNIPER ENRIQUE LOOR RODRÍGUEZ**

TUTOR:

ING. CARLOS ANDREE VILLAFUERTE VELEZ, M. Sc.

CALCETA, JULIO DE 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

LOOR PATIÑO MARTIN ELIAS, con cédula de ciudadanía **1313974022**, y **LOOR RODRIGUEZ JENNIPER ENRIQUE**, con cédula de ciudadanía **1312542960**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **MODELACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM2.5 Y NO_x) EMITIDOS POR FISHCORP EN LA CIUDAD DE JARAMIJÓ - 2021** es de nuestra autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún título o título profesional y que he consultado las referencias bibliográficas aquí contenidas en el documento.

Mediante esta declaración, otorgo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor a favor de mi obra, de conformidad con el artículo 114 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



**MARTÍN ELÍAS LOOR
PATIÑO**

CC: 1313974022



**JENNIPER ENRIQUE LOOR
RODRÍGUEZ**

CC: 1312542960

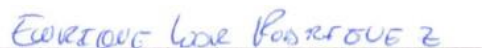
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

LOOR PATIÑO MARTIN ELIAS, con cédula de ciudadanía **1313974022**, y **LOOR RODRIGUEZ JENNIPER ENRIQUE**, con cédula de ciudadanía **1312542960**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación Curricular titulado: **MODELACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM2.5 Y NO_x) EMITIDOS POR FISHCORP EN LA CIUDAD DE JARAMIJÓ - 2021**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



**MARTÍN ELÍAS LOOR
PATIÑO**

CC: 1313974022



**JENNIPER ENRIQUE LOOR
RODRÍGUEZ**

CC: 1312542960

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. CARLOS ANDREE VILLAFUERTE VELEZ. Mg., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **MODELACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM2.5 Y NO_x) EMITIDOS POR FISHCORP EN LA CIUDAD DE JARAMIJÓ - 2021**, que ha sido desarrollada por **LOOR PATIÑO MARTIN ELIAS** y **LOOR RODRIGUEZ JENNIPER ENRIQUE**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo con el **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**ING. CARLOS ANDREE VILLAFUERTE
VÉLEZ, MG.**

**CC: 1307605541
TUTOR**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de Integración Curricular titulado **MODELACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM2.5 Y NO_x) EMITIDOS POR FISHCORP EN LA CIUDAD DE JARAMIJÓ - 2021**, que ha sido desarrollado por **LOOR PATIÑO MARTIN ELIAS** y **LOOR RODRIGUEZ JENNIPER ENRIQUE**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, MG.

CC: 2300121833

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**ING. CARLOS F.
SOLÓRZANO
SOLÓRZANO, MG.**

CC: 1306071984

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**ING. KEVIN A. PATIÑO
ALONZO, MG.**

CC: 1313231118

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le quiero agradecer a Dios por permitirme llegar al final de mi carrera.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por brindarme la oportunidad de obtener una educación universitaria de calidad y en la cual practique día a día mi especialidad.

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi carrera a pesar de las dificultades siempre cuento con su apoyo incondicional, para continuar adelante en mi carrera.

Para mi familia, que sabe comprenderme y acude a mi cuando lo necesito.

A mis profesores y compañeros, que siempre han estado presentes para demostrarme su amistad y poder contar con ellos.

MARTIN ELÍAS LOOR PATIÑO

AGRADECIMIENTO

Primero que nada, quiero agradecer a Dios por dejarme llegar a esto, porque a través de su voluntad, he podido despertar día tras día y luchar por mis sueños, como éste, de ser ingeniero.

A mis padres, quienes son mi fortaleza, quienes me han apoyado incondicionalmente y han estado al frente animándome a no retroceder en este proceso.

Para mi familia, así como a mi esposa, que en los últimos años ha sido un factor fundamental en mi vida, ha sido solidaria y comprensiva con mi hija, ella quiere que luche y me siga preparando, para que se sienta orgullosa de su papá.

Gracias a los profesores, ya que sus enseñanzas y dedicación he adquirido conocimientos sumamente valiosos que me ayudan a sacar lo mejor de mi trabajo como de mi persona.

JENNIPER ENRIQUE LOOR RODRÍGUEZ

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por su eterna bendición y amor, porque ha estado conmigo en cada paso del camino, y es la persona más merecedora a quien dedicarle mis pequeños logros, regalo de sabiduría para superarme y seguir adelante. A mis padres, por su apoyo incondicional, quienes me brindaron amor y comprensión, quienes me guiaron en el camino con sus sabios consejos, depositando en ellos su total confianza en cada desafío que tiene por delante. Para mí en trabajar en este proyecto, porque sin mi dedicación y constancia diaria no hubiera sido posible la realización de la tesis y tampoco lo sería para los docentes que han marcado nuestra aspiración al éxito y al profesionalismo.

MARTIN ELÍAS LOOR PATIÑO

DEDICATORIA

Este trabajo te lo dedico a ti, mi Dios por haberme iluminado, por llenarme de paciencia y sabiduría para poder culminar mi carrera.

A mis padres, Gilber Jenniper Loor Muñoz y Blanca Flor Rodríguez López porque gracias a sus sabios consejos y su apoyo incondicional pude iniciar una carrera en donde he llegado a culminar con ayuda de sus sacrificios los amo con todo mi corazón.

A mi esposa, Alexandra Estefanía Quiroz Macay, porque ha estado ahí desde la mitad de la carrera para darme fuerza y apoyo en las buenas y en las malas, para que nunca desfalleciera y alcanzara mis metas, y mi hija es mi fuerza, razón para ganar para hacer este proyecto.

JENNIPER ENRIQUE LOOR RODRÍGUEZ

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO GENERAL.....	x
CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
1 CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3.3 IDEA A DEFENDER	4
2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 FISHCORP.....	5
2.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	5
2.2.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS.....	6
2.2.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS	6
2.2.3 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	7
2.2.4 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA SALUD	8
2.3 CALIDAD DE AIRE	10
2.4 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE	10

	xi
2.5	DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES 10
2.6	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES 11
2.6.1	EL VIENTO 12
2.6.2	LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 12
2.6.3	LA RADIACIÓN SOLAR 13
2.6.4	LA PRECIPITACIÓN 13
2.6.5	LA TOPOGRAFÍA 13
2.7	MODELACIÓN AMBIENTAL 13
2.8	MODELOS DE DISPERSIÓN 14
2.9	MODELOS DE DISPERSIÓN EN ECUADOR 15
2.10	LOS MODELOS GAUSSIANOS 16
2.11	AERMOD VIEW 17
2.12	NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE 18
2.12.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008 19
2.12.2	CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA) 20
2.12.3	TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA) 21
2.12.4	PROTOCOLO DE KYOTO 24
3	CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO 26
3.1	UBICACIÓN 26
3.2	DURACIÓN 26
3.3	MÉTODOS 27
3.3.1	MÉTODO CUANTITATIVO 27
3.3.2	MÉTODO DEDUCTIVO 27
3.3.3	MÉTODO EXPLORATORIO 27
3.3.4	MÉTODO ANALÍTICO 27
3.4	TÉCNICAS 28
3.4.1	BIBLIOGRÁFICA 28
3.4.2	OBSERVACIÓN 28
3.4.3	MODELO GAUSSIANO 28
3.5	VARIABLES A MEDIR 28
3.5.1	VARIABLE DEPENDIENTE 28
3.5.2	VARIABLE INDEPENDIENTE 28
3.6	PROCEDIMIENTO 29

3.6.1	FASE I. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EMITIDOS POR FISHCORP S.A. MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO PARA LA PREDICCIÓN DE SU DISPERSIÓN.....	29
3.6.2	FASE II. COMPROBACIÓN DE LA COHERENCIA ENTRE LAS EMISIONES DESCARGADAS POR FISHCORP S.A. EN BASE A LA PREDICCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO (GAUSSIANO)	30
	Actividad 3. Medir la concentración de los contaminantes en los puntos cruciales para comprobar eficiencia del modelo matemático-.....	30
4	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1	ESTIMACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EMITIDOS POR FISHCORP S.A. MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO PARA LA PREDICCIÓN DE SU DISPERSIÓN	32
3	32
4.2	COMPROBAR LA COHERENCIA ENTRE LAS EMISIONES DESCARGADAS POR FISHCORP S.A. CON BASE A LA PREDICCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO (GAUSSIANO)-.....	39
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1.	CONCLUSIONES.....	43
5.2.	RECOMENDACIONES	44
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
7.	ANEXOS.....	51

CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 2.1. Características y fuente de principales contaminantes atmosféricos.	7
Tabla 2.2. Contaminantes del aire nocivos a la salud	9
Tabla 2.3. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.	24
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas de las calderas de FishCorp S.A.	32
Tabla 4.2 Datos meteorológicos, promedios mensuales 2020	33
Tabla 4.3 Características y datos meteorológicos de la fuente modelada.....	35
Tabla 4.4. Concentraciones obtenidas por el modelo de dispersión AERMOD View.....	36
Tabla 4.5. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	39
Tabla 4.6. Comparación de las concentraciones del modelo de dispersión, las medidas con el calibrador y la normativa.	41

FIGURAS

Figura 3.1. Mapa ubicación de la empresa Fishcorp S. A.....	26
Figura 4.1. Mallado multinivel AERMOD.....	34
Figura 4.2. Rosa de los vientos AERMOD-WRPlot.....	35
Figura 4.3. Modelación del contaminante NOx.....	37
Figura 4.4. Modelación del contaminante PM 2.5.....	38
Figura 4.5. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.....	40

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo predecir la concentración de PM 2.5 y NO_x a nivel del suelo a partir de los datos de fuente de emisión de la compañía Fishcorp S.A y las condiciones climáticas y topográficas de Jaramijó. Para la estimación del comportamiento de los contaminantes emitidos por Fishcorp S.A., se recopiló una base de datos meteorológicos y climatológicos de la estación meteorológica del aeropuerto, para aplicar el modelo gaussiano en la predicción de su dispersión mediante el programa AERMOND VIEW. Los resultados demostraron que el modelo de dispersión diseñado a través del software AERMOND VIEW fue eficiente para los contaminantes monitoreados, teniendo concentraciones máximas de 1333 ug/m³ NO_x y 1689 de PM 2.5 de la modelación donde aproximadamente a los datos medidos con el calibrador que fueron de 1335 ug/m³ NO_x y 1200 PM 2.5, considerándose superiores al límite máximo permisible del Anexo 4 del TULSMA.

PALABRAS CLAVES

Dispersión, contaminantes atmosféricos, límites permisibles.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to predict the concentration of PM 2.5 and NOx at ground level from the emission source data of the company Fishcorp S.A and the climatic and topographic conditions in Jaramijó. To estimate the behavior of the pollutants emitted by Fishcorp S.A., a meteorological and climatological database was compiled from the airport weather station, to apply the Gaussian model to predict their dispersion using the AERMOND VIEW program. The results showed that the dispersion model designed through the AERMOND VIEW software was efficient for the pollutants monitored, having maximum concentrations of 1333 ug/m³ NOx and 1689 of PM 2.5 of the modeling where approximately the data measured with the calibrator that were of 1335 ug/m³ NOx and 1200 PM 2.5, being considered higher than the maximum permissible limit of Annex 4 of the TULSMA.

KEYWORDS

Dispersion, atmospheric pollutants, permissible limits.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la contaminación atmosférica es un problema ambiental crítico a nivel mundial, de acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2019) se considera una de las grandes amenazas para el ambiente y la salud. Los principales causantes de este fenómeno ambiental, que afectan la calidad de vida, son los procesos industriales, los cuales vierten grandes emisiones de gases contaminantes y partículas en el aire (Avilés *et al.*, 2018). Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), tuvieron como resultados que existe un estimado de 7 millones de muertes prematuras anualmente, ocasionado por la contaminación del aire.

La industria desempeña un buen desarrollo para la reactivación socioeconómica y mejora la calidad de vida de los ciudadanos, así como también provoca alteraciones en los ecosistemas, numerosas formas de contaminación y otros problemas ambientales (Domínguez, 2015). El impacto ambiental por parte de las industrias se da porque en los procesos de manufactura, manejan componentes químicos, tóxicos, ácidos, disolventes, radioactivos, derivados del petróleo, y otros elementos que perturban la biosfera cuando son eliminados en los diversos procesos industriales (Fundación Aquae, 2019).

Los contaminantes más comunes emitidos a la atmósfera por la producción industrial y que están sujetas a control, son: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos, material particulado, óxido nitroso (NO) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Cabrera, 2012). Estas sustancias logran transportarse por medio del aire, causando que este recurso indispensable para la vida se convierta en perjudicial para las personas, plantas y animales, provocando efectos en la salud como: infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, entre otras (Academia Nacional de Medicina, 2015).

El sector industrial carece de estrategias ambientales viables en sus procesos, las cuales sirvan para mitigar los daños causados por las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Por esta razón, la modelación ambiental surge como parte de la gestión integral y de monitoreo, para predecir y estimar la circulación de estas sustancias en el aire (European Environment Agency, 2011; Vidal, 2018).

Sin embargo, en Ecuador el monitoreo de calidad de aire es un tema que tiene deficiencias con respecto a la precisión de información, políticas ambientales y la aplicación de modelos ambientales que contribuyan a la predicción de emisiones atmosféricas, tanto así que sólo Guayaquil, Cuenca, Quito y Ambato, han desarrollado estudios de calidad de aire, en la provincia de Manabí, el sector industrial dedicado al procesamiento de productos ictiológicos, ubicado en los cantones de Manta y Jaramijó, presenta falencias en el control de emisiones atmosféricas desde hace varios años, las constantes descargas de contaminantes al aire afectan el entorno y la calidad de vida a las personas que habitan a sus alrededores (Merchán, 2017; Rivadeneira, 2022; Blanco, 2020)

FishCorp S. A. es una industria ubicada en el cantón Jaramijó, actualmente considerada como una de las grandes empresas del sector pesquero por sus productos de exportación, así como por la demanda de empleados que posee (FishCorp S.A., 2015). A pesar de ello, representa un impacto ambiental por las emisiones causadas por los procesos de manufactura, lo que trae consigo problemas de salud y afecta el entorno (Merchán, 2017). Con los antecedentes expuestos, se formula la siguiente pregunta:

¿Cómo influyen las características de emisión contaminantes en la atmósfera de la compañía FishCorp S.A., además de las condiciones climáticas y topográficas del cantón Jaramijó, en la concentración de PM_{2,5} y NO_x?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los modelos de dispersión son importantes, debido a que son una herramienta fundamental para el monitoreo ambiental, y permiten realizar predicciones y estimaciones de contaminantes atmosféricos (Vidal, 2018). En Ecuador, es necesario la aplicación de estos modelos para poder fortalecer las políticas y

estrategias de control viables para mitigar la contaminación por parte del sector industrial (Rivadeneira, 2022).

El presente estudio de investigación se acoge al Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 del eje 4, Objetivo 12 que establece “Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático” (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Y en el Código Orgánico del Ambiente (COA), Título 2 del Sistema Único de Gestión Ambiental, el Capítulo V sobre la calidad de los componentes abióticos y el estado de los componentes bióticos, establece el artículo 191. Monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Agencia Nacional del Ambiente o el gobierno autónomo descentralizado competente realizará la vigilancia y supervisión de la calidad del aire, el agua y el suelo, en coordinación con las demás autoridades competentes según corresponda, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que al efecto se dicten.

El monitoreo de calidad de aire es un tema fundamental y que genera preocupación en el medio, dada su deficiencia en estudios, su interés radica en que este permite registrar la emisión de contaminantes desde su fuente (Hernández *et al.*, 2015). La implementación y correcta aplicación de modelos de dispersión, permite identificar la contribución de cada una de las fuentes, y a su vez evaluar el impacto que tienen los contaminantes en la calidad de aire de la zona estudiada (Avilés *et al.*, 2018).

Por esta razón, el presente trabajo es fundamental, para ser la base de futuras investigaciones que contribuyan a la indagación de modelos de dispersión factibles para ser aplicados en estudios de impacto ambiental, incentivando el interés y promoviendo este tipo de temas para ser profundizados de manera práctica (Rivadeneira, 2022).

Acorde al estándar de educación de la ESPAM MFL, el cual registra la producción científica y la prestación de servicios científicos, la presente investigación se realiza en concordancia del aporte investigativo en una zona importante, en la cual se debe considerar el cuidado de uno de los componentes abióticos indispensables para vivir, como es el aire, con la

finalidad de promover futuros estudios que favorezcan la mitigación de contaminación por el sector industrial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Predecir la concentración de PM 2.5 y NOx a nivel del suelo a partir de los datos de fuente de emisión de la compañía FishCorp S.A y las condiciones climáticas y topográficas de Jaramijó.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el comportamiento de los contaminantes emitidos por FishCorp S.A. mediante la implementación del modelo gaussiano para la predicción de su dispersión.
- Comprobar la coherencia entre las emisiones descargadas por FishCorp S.A. en base a la predicción del modelo matemático (Gaussiano).

1.3.3 IDEA A DEFENDER

El modelo de dispersión gaussiano demuestra concentraciones de PM 2.5 y NOx en el área de influencia de la compañía Fishcorp, las cuales deben estar acordes al monitoreo a nivel del suelo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 FISHCORP

De acuerdo con Mafla *et al.* (2020) Fishcorp S.A. es una Empresa Atunera ecuatoriana, que se dedica al procesamiento de lomos precocidos congelados y empacados al vacío, así como conservas de atún y sardinas en diferentes presentaciones. Esta fue fundada el 7 de agosto de 1996 en Manta, en sus inicios su actividad en el mercado nacional era solo como fábrica de pesca fresca y camarón. Posteriormente, amplió su portafolio de productos y servicios, ya en 2015 procesaban lonjas de atún pre-cocidas, empacadas al vacío y congeladas, además de las latas de atún y conservas en pouch (bolsas) (Superintendencia de Compañías, Valores y Seguro, 2019).

La empresa cuenta con capacidad instalada de 25 toneladas métricas para la producción de lomos de atún congelados y realiza hasta 4000 latas de atún diarias, además de poseer una cámara frigorífica de 3000 toneladas y un buque de 240 toneladas (FishCorp S.A., 2015).

En la actualidad, el principal ingreso de FishCorp S.A se debe a la exportación misma que ocupa el 90% total, mientras que solo el 10% restante es a nivel local, específicamente la venta de desperdicios. Durante los últimos años, la empresa ha evolucionado significativamente y es considerada como mediana dentro del sector, pero como grande dentro de la clasificación de empresas ya que superó los 600 empleados y los 35 millones de dólares en ventas hasta el 2018 (Estrada, 2020).

2.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se refiere a la presencia en el aire de sustancias nocivas y formas de energía que alteran la calidad de este, que podrían llegar a provocar daño o molestia grave, sea hacia la salud de la población o a cualquier tipo de ecosistema (Ubilla *et al.*, 2016).

Pérez (2017) sostiene que una de las principales causas de la contaminación del aire se debe al escape o arrastre de gases, ya que, al ser material volátil almacenado, se constituye en la principal forma de contaminación del aire puesto que proviene de los procesos en los que interviene la combustión, así como la oxidación de algunos elementos que componen los combustibles, la materia prima y el aire. Para Ariza *et al.* (2014) las emisiones que son producto de las actividades antrópicas están jugando un papel más importante en los problemas actuales de contaminación atmosférica y calentamiento global, ya que estos han tenido un incremento continuo desde la revolución industrial.

La contaminación del aire está constituida por una mezcla compleja de contaminantes que debido a las numerosas fuentes de emisión hace muy complicado el estudio de los efectos hacia la salud. Cuando estos están en la atmósfera, los diferentes contaminantes emitidos se transforman y son afectados por factores ambientales como es el caso de la temperatura y la humedad haciendo que esos procesos modifiquen la composición, la toxicidad o propiedades biológicas de la mezcla (Künzli *et al.*, 2010).

2.2.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Son aquellas sustancias emitidas directamente a la atmósfera por la fuente. Su naturaleza física y su composición química es muy variada. Existen cinco contaminantes primarios que provocan cerca del 90% de los problemas de contaminación atmosférica (Martínez, 2018).

2.2.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O_3), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COV's) y óxidos de nitrógeno (NOx) (Brown, 2013).

2.2.3 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Tabla 2.1.

Características y fuente de principales contaminantes atmosféricos.

Principales Contaminantes Atmosféricos	Características principales	Fuentes
Dióxido de carbono (CO₂)	<p>Es un gas sin color, olor ni sabor que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural.</p> <p>No es tóxico, pero desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza ya que es un gas que produce un importante efecto de atrapamiento del calor, el llamado efecto invernadero.</p>	<p>Aproximadamente un 35% del emitido procede de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), mientras que un 25% de las plantas eléctricas, y alrededor de otro 25% procede del transporte.</p>
Monóxido de carbono (CO)	<p>El monóxido de carbono es un gas tóxico inflamable, incoloro e insípido.</p> <p>Su combinación con el oxígeno atmosférico genera el dióxido de carbono lo que da lugar al efecto invernadero</p>	<p>Gases de escape de vehículos de motor y de algunos procesos industriales.</p>
Dióxido de azufre (SO₂)	<p>El dióxido de azufre es un gas incoloro y no inflamable.</p> <p>Se combina fácilmente en la atmósfera con el vapor de agua convirtiéndose en ácido sulfúrico, siendo junto con el nítrico, uno de los causantes de la lluvia ácida.</p>	<p>Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso; plantas de ácido sulfúrico</p>
Partículas en suspensión	<p>Son las partículas en suspensión menores de 10 micras, las únicas capaces de llegar a los alvéolos y pueden causar problemas respiratorios.</p>	<p>Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales; incineración de residuos</p>

Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂)	El óxido de nitrógeno (NO) es un gas tóxico, inodoro e incoloro, pero no inflamable.	Gases de escape de vehículos de motor; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes
	El óxido nítrico se combina en la atmósfera con el vapor de agua, dando lugar al ácido nítrico, otro de los causantes de la lluvia ácida.	
	El dióxido de nitrógeno (NO ₂) es un gas fuertemente tóxico de color pardo rojizo, que al igual que el óxido de nitrógeno se combina con el vapor de agua dando lugar a la lluvia ácida	
Oxidantes fotoquímicos (fundamentalmente ozono [O₃])	El ozono troposférico es un gas incoloro y de olor agradable, muy oxidante e irritante. Es un contaminante secundario que tiene un origen fotoquímico, es decir, que se forma por la acción de la luz solar en presencia de óxidos	Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógenos, hidrocarburos y luz solar de nitrógeno e hidrocarburos.
Hidrocarburos no metánicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en estado gaseoso. Se pueden combinar en presencia de la luz solar con óxidos de nitrógeno y participan en la formación del smog fotoquímico.	La gran mayoría del metano emitido a la atmósfera procede de cuatro fuentes, en proporciones muy similares: la agricultura y ganadería, el tratamiento de residuos, el tratamiento y distribución de combustibles fósiles y las emisiones naturales que tienen lugar, sobre todo, en las zonas húmedas.
	Metano (CH ₄) Es el más abundante e importante de los hidrocarburos atmosféricos.	
	Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. El ganado, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forman metano en grandes cantidades.	

Fuente: Blanco, (2020)

2.2.4 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA SALUD

Según el modelo de la OMS (2016) el 92% de la población global reside en sitios donde la calidad del aire sobrepasa los límites definidos por aquella organización. Los efectos relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica son diversos, siendo los más estudiados aquellos que se producen a corto plazo, es decir en el periodo de unos pocos días, que podrían ser hasta menos de una semana, después de la exposición. Estos efectos mantienen una

progresión tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población de riesgo afectada (Morgenstern, 1995).

La contaminación del aire no solo está relacionada con enfermedades mortales, sino también con la disminución de la salud y la calidad de vida de millones de personas. Esto puede provocar dificultad para respirar, asma, bronquitis e inflamación de las vías respiratorias y los ojos (tabla 2.2) (UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND [UNICEF], 2016).

Tabla 2.2.

Contaminantes del aire nocivos a la salud.

Contaminantes	Efectos en la salud
PM10	Irrita y bloquea las vías bronquiales, generando una amplia gama de enfermedades respiratorias.
PM2.5	Logran penetrar hasta las partes más profundas del sistema respiratorio aumentando los factores de coagulación de la sangre, aumentando o agravando enfermedades isquémicas del corazón.
Ozono (O₃)	El ozono en las partes bajas de la atmosfera actúa como un irritante de las vías respiratorias generando asma y neumonía.
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	Irritación de las vías respiratorias y en el empeoramiento de la neumonía, asma, bronquitis y en la reducción de la capacidad pulmonar
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)	La exposición prenatal a estos ha mostrado aumento en el riesgo de infecciones y síntomas nasales en infantes, así como aumento de problemas cognitivos.
Dióxido de Azufre (SO₂)	Problemas del sistema respiratorio como tos, mucosidades, bronquitis crónica y asma. Varios estudios indican que la exposición prolongada incrementa la tasa de mortalidad especialmente las enfermedades cardiacas y pulmonares.
Monóxido de Carbono (CO)	Dolor de cabeza, impedimento visual, reducción de la capacidad cognitiva y habilidad.
Amonio (NH₃)	Peligroso en altas concentraciones.

Fuente: UNICEF, (2016).

2.3 CALIDAD DE AIRE

Se define como la concentración del contaminante que llega a un receptor, más o menos alejado de la fuente de emisión una vez transportado y difundido por la atmósfera (Hernández *et al.*, 2015). La modelación de la calidad del aire juega un papel importante en el establecimiento de legislaciones para el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos, determinando los valores máximos permitidos para los caudales y concentraciones de emisión (Avilés *et al.*, 2018).

Las condiciones meteorológicas tienden a influir en la capacidad de la atmósfera para diluir las concentraciones de contaminantes, siendo fundamental para preservar la buena calidad del aire (Correa, 2011). Por lo tanto, a una atmósfera estable se propiciará la acumulación de contaminantes y se facilitará la formación de contaminantes secundarios mientras que, en una atmósfera inestable la difusión de los contaminantes será más eficaz debido a las turbulencias (Encinas, 2011).

2.4 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

El índice de calidad del aire (ICA) es una herramienta usada por la EPA y otras agencias que consiste en un valor adimensional, calculado a partir de información procedente de la legislación vigente relacionada con los distintos contaminantes atmosféricos, cuyo principal objetivo es facilitar a la población la comprensión de la información relacionada con la contaminación del aire y si estos niveles de polución son perjudiciales a la salud (Correa, 2011).

El cálculo del ICA requiere una concentración de contaminante del aire durante un período de promedio especificado que se obtuvo de un monitor o modelo. (Environmental Protection Agency [EPA], 2009).

2.5 DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES

La OMS (2021) define los contaminantes como el fenómeno de flujo entre diferentes compartimentos. Durante el proceso de difusión, los contaminantes sufren grandes cambios y transferencias. La dilución ocurre debido a la mezcla

con el aire, la separación o acumulación de contaminantes ocurre dependiendo de las características físicas de los contaminantes. Se produce una reacción química que descompone el contaminante original o lo convierte en nuevos compuestos. Algunos contaminantes también pueden eliminarse de los medios de transporte por deposición (Ministerio del Ambiente de Perú, 2021).

La capacidad de la atmósfera de dispersar las concentraciones de los contaminantes va determinada por las condiciones meteorológicas, siendo los parámetros meteorológicos los que más se relacionan con la contaminación atmosférica y su dispersión, tales como la velocidad del viento, la dirección del viento y la variación de la temperatura con la altura (Hayas, 2011). La intensidad y la dirección del viento son factores imprescindibles para tener en cuenta para valorar la capacidad y dirección de la dispersión de los contaminantes (Pérez, 2017).

2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES

La dispersión y transporte de contaminantes pueden estar afectados por factores climáticos y geográficos entre los que se encuentran las variaciones globales y regionales del clima, las condiciones topográficas locales afectan el transporte y dispersión de los contaminantes (Blanco, 2020). Las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes, por ejemplo, la dirección predominante de los vientos en Centroamérica y norte de Sudamérica es de este a oeste y en Norteamérica y sur de Sudamérica es de oeste a este (Oliver, 2005).

El transporte y la dispersión afectan directamente la concentración de contaminantes en la atmósfera. Esto va relacionado con el tamaño de la fuente y las variaciones locales que aumentan la eficiencia de la dispersión, tales como: Viento, turbulencia, altitud, temperatura, humedad, entre otros (OMS, 2004).

2.6.1 EL VIENTO

El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante (Blanco, 2020). Spiegel *et al.* (2013), expresan que la dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana, dicha turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. El movimiento horizontal es lo que comúnmente se llama viento, y la velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área ya que mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2015).

2.6.2 LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

El movimiento vertical se denomina “estabilidad atmosférica”, tiene una alta influencia sobre la dispersión de los contaminantes en la atmósfera ya que cuanto mayor inestabilidad la dispersión aumenta (Haro *et al.*, 2018).

La dispersión de contaminantes está en gran parte determinada por el comportamiento de la capa más baja de la atmósfera, según Villar (2017) esto se debe porque en el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar, mientras que el aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar, siendo aquel movimiento del aire lo que crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.

Según Haro *et al.* (2018) la estabilidad atmosférica tiene tres tipos que son:

- Ascenso orográfico: Cuando una masa de aire localiza una dificultad de elevación en su trayectoria.
- Ascenso convectivo: Hay dos masas de aire semejantes coinciden en superficie.
- Ascenso frontal: Hay dos masas de aire diferentes coinciden en superficie.

2.6.3 LA RADIACIÓN SOLAR

Contribuye a la formación de ozono y contaminantes secundarios en el aire, permitiendo la reacción de vapores orgánicos con los óxidos de nitrógeno (OPS, 2015). La radiación solar incrementa la inestabilidad atmosférica, debido a que el calentamiento de la superficie de la tierra hace fluir hacia arriba el aire caliente y bajar el aire frío lo que provoca un proceso de mezclado vertical. (Villar, 2017).

2.6.4 LA PRECIPITACIÓN

La lluvia arrastra y lava las partículas contaminantes del aire produciendo un efecto de lavado sobre la atmósfera ya que se arrastra parte de los contaminantes al suelo. Las condiciones atmosféricas de bajas presiones que suelen acompañar a las precipitaciones favorecen la dispersión de contaminantes (Rubio, 2019).

2.6.5 LA TOPOGRAFÍA

La situación geográfica y el relieve tienen una influencia en el origen de brisas, que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación. La incidencia de este fenómeno es diferente según las zonas en que se produzca y sus características (Rubio, 2019).

2.7 MODELACIÓN AMBIENTAL

Los modelos ambientales son instrumentos que prueban similar cierto comportamiento de sistemas muy complejos a partir de datos fisicoquímicos o hidrológicos, para dar un resultado acerca de las consecuencias que pueden llegar a tener los proyectos o instituciones a nivel medioambiental (España, 2013).

La modelización permite evaluar los contaminantes y alcanza un punto de importancia, que proporciona insumos para predecir y analizar la calidad del aire, contribuyendo de esta forma en las decisiones políticas, reglamentarias, de planificación y en los estudios de impacto ambiental en poblaciones que han sido expuestas (Seangkiatiyuth *et al.*, 2011).

2.8 MODELOS DE DISPERSIÓN

Los modelos de dispersión atmosférica son herramientas empleadas para evaluar los impactos ambientales en la calidad del aire generados por las diferentes fuentes de emisión (Zuluaga *et al.*, 2016). Su planteamiento general sigue el esquema de un modelo de procesos o fenómenos, es decir, consisten en aplicar un modelo matemático a cada fenómeno que experimentan los contaminantes en la atmósfera, y sumar las contribuciones de todos los modelos de proceso en una ecuación de balance o conservación para cada propiedad considerada (Hernández *et al.*, 2015).

Todos los modelos de dispersión utilizan formulaciones matemáticas, éstas sirven para poder caracterizar aquellos procesos atmosféricos que dispersan contaminantes que son emitidos desde una sola fuente. Con base en aquellas entradas de emisiones y condiciones meteorológicas, se puede usar un modelo de dispersión para predecir las concentraciones en ubicaciones seleccionadas de receptores a favor del viento (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2022).

Si se utiliza de manera correcta, estos modelos llegarían a ser muy útiles para predecir los patrones de dispersión y de deposición de los contaminantes, la cual de este modo contribuirán a identificar las áreas de mayor exposición de compuestos nocivos. Siendo solo válidos los resultados si los datos sobre emisiones y meteorología son confiables, además de tener un modelo apropiado y certificado (OMS, 2004).

Arregui (2014), expresa que las principales variables que influyen en los modelos de dispersión atmosférica son:

- Variables meteorológicas (como la velocidad y dirección de los vientos, estabilidad atmosférica)
- Variables topográficas o de orografía del terreno
- Variables relativas a la emisión del contaminante (Cantidad emitida, Posición y altura del foco emisor, Tipo de contaminante, Temperatura de emisión, Velocidad de emisión)

- Comportamiento químico del contaminante (como la vida media o reactividad química del compuesto)

2.9 MODELOS DE DISPERSIÓN EN ECUADOR

En el país, la gestión de la contaminación atmosférica es uno de los temas menos trabajados, y apenas con la creación de la Corporación Municipal de Mejoramiento de la Calidad de aire en Quito (CORPAIRE) y de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), se tomó la iniciativa para obtener datos de buena calidad, los mismos que permiten llevar a cabo técnicas de prevención y control de la contaminación, principalmente aquellas de origen vehicular (Páez, 2008).

Rubio (2019) evaluó contaminantes en la atmósfera que alteraban la calidad del aire en las inmediaciones de la Universidad Politécnica Salesiana “Campus Sur”, con la finalidad de proporcionar información que permita tomar medidas de prevención de enfermedades respiratorias. Para el monitoreo aplicó el método gravimétrico (CFR) “Code of Federal Regulation, respaldado por el Acuerdo Ministerial 097A Anexo 4 y al Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), teniendo como resultados, datos dentro de los límites máximos permisibles estipulados en la norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de inmisión, Anexo 4, Acuerdo ministerial 097A y 061.

Por otro lado, Avilés *et al.* (2018) monitorearon la dispersión de contaminantes CO, NO_x y SO₂ en la ciudad de Cuenca que provenían del sector industrial conformado de 122 industrias, considerando 22 de ellas como fuentes fijas de emisión. Aplicando la metodología propuesta en el TULSMA y en el Acuerdo Ministerial 097-A, encontraron que el contaminante de mayor emisión fue el SO₂ con 69,5437 g/s, seguido por los NO_x con 19,6781 g/s y por último el CO con 2,9226 g/s, existiendo mayor aporte en el sector de elaboración de cartón y papel para el SO₂ y NO_x, y en el sector de productos industriales farmacéuticos y químicos para el CO. Finalmente compararon dos software, siendo el Disper 5.2 con una valoración de 4 aceptable y Screen View 3 con 3,6 también en el rango aceptable.

2.10 LOS MODELOS GAUSSIANOS

Eurofins Envira (2021), señala que los modelos gaussianos son los más antiguos y empleados en el caso de que exista el interés de calcular los efectos de un foco emisor a distancias no demasiado largas.

El modelo Gaussiano es un modelo que sirve para la modelización del transporte de contaminantes, que a su vez sirve para la determinación de la variación de la concentración de un determinado contaminante en el espacio y tiempo. Gracias a esta modelización del comportamiento de los contaminantes, se pueden estimar parámetros que pueden ayudar a detectar el foco emisor y hasta planificar el territorio que se encontrará rodeando a dicho foco (Gallegos, 2016).

Pierra (2008), manifiesta que este modelo describe el comportamiento de los gases o vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad. Se suele utilizar en los cálculos de concentración de un contaminante que no es reactivo y que se produce por una fuente puntual, por ejemplo, la chimenea de una fábrica (Eurofins Envira, 2021).

De acuerdo con Gallegos (2016), la expresión matemática del modelo para calcular la concentración instantánea del contaminante o el promedio de corto plazo (una hora) a nivel de suelo, causada por la emisión desde una fuente fija puntual, es la ecuación 2.1 que se muestra a continuación:

$$c_j = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \exp \left[-\frac{h^2 e^{-z}}{2\sigma_z^2} \right] \quad [2.1]$$

- C_j : Representa la concentración a corto plazo del contaminante en un punto específico de coordenadas (x, y, z), medida en g/m³.
- Q: Indica la tasa de emisión del contaminante en g/s.
- U: Corresponde a la velocidad del viento a la altura efectiva de emisión, expresada en m/s.
- σ_y : Es la desviación estándar de la distribución espacial de la concentración o el coeficiente de dispersión en la dirección transversal.

Este parámetro depende de la distancia en la dirección del viento (eje x) entre la fuente de emisión y el punto receptor, y se mide en metros (m).

- σ_z : Representa la desviación estándar de la distribución espacial de la concentración o el coeficiente de dispersión en la dirección vertical. Este parámetro también es función de la distancia en la dirección del viento (eje x) entre la fuente de emisión y el punto receptor, y se mide en metros (m).
- y: Indica la distancia horizontal transversal desde el receptor hasta la línea central de la pluma, medida en metros (m).
- z: Representa la distancia vertical desde el receptor hasta la línea central de la pluma, medida en metros (m).
- h_e : Se refiere a la altura efectiva de emisión, la cual incluye la altura física de la fuente de emisión y la elevación de la pluma debido a la velocidad de salida (cantidad de movimiento) y a la diferencia térmica entre la salida y el ambiente (bouyancia térmica).

2.11 AERMOD VIEW

Es un software desarrollado por la empresa Lakes Environmental Inc. de Canadá, para determinar la tasa de emisión de PM₁₀ máxima para los equipos de calefacción a leña y la carga máxima por combustión residencial de leña en la ciudad. Además, es uno de los modelos recomendados por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos (EPA USA) para evaluaciones ambientales de proyectos (Silva *et al.*, 2011).

El modelo AERMOD EPA USA consiste en determinar la distribución de contaminantes en una pluma de manera horizontal y vertical, siguiendo un comportamiento de tipo normal denominado distribución de Gauss, incorporando algoritmos de dispersión para considerar las diferencias de cotas del terreno en el dominio (EPA U.S., 2004).

El sistema de modelación de dispersión atmosférica AERMOD, de acuerdo con Zuluaga *et al.* (2016), es un sistema integrado conformado por tres módulos, a continuación, se describe cada uno de ellos:

- El primer módulo corresponde al modelo de dispersión en estado estacionario. Este modelo se basa en conceptos como la capa límite planetaria, turbulencia y escalado para simular la dispersión del aire. Permite la modelación de fuentes superficiales y elevadas en terrenos simples y complejos.
- El segundo módulo es un pre-procesador de datos meteorológicos llamado AERMET. Este módulo utiliza datos meteorológicos de la superficie del área de análisis para calcular parámetros atmosféricos necesarios para la ejecución del modelo de dispersión. Estos parámetros incluyen la altura de la mezcla, turbulencias atmosféricas, características de la capa límite, entre otros. Al ejecutar AERMET, se generan dos archivos: uno contiene los datos de superficie y el otro contiene los datos de viento.
- El tercer módulo es un pre-procesador de topografía. Su principal objetivo es proporcionar al modelo la relación física entre las características del terreno y el comportamiento de las nubes de aire que contienen el contaminante atmosférico. Utiliza los datos del terreno para calcular una altura de influencia representativa del terreno, también conocida como escala de altura del terreno.

2.12 NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

La aplicación de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos en Ecuador, según Arregui (2014) se emplea como una herramienta de gestión ambiental y específicamente como instrumento de evaluación de impacto ambiental por lo que se encuentra limitada a lo exigido por la legislación ambiental, sin embargo es la misma legislación ambiental que exige su aplicación como parte de la evaluación de impacto ambiental, tanto para determinar el impacto durante su operación como el cumplimiento de los límites máximos permitidos por sus normas técnicas.

2.12.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008

El artículo 14 reconoce el derecho de toda persona a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sustentabilidad y el buen vivir, proclama la protección, integridad de la biodiversidad y del patrimonio genético de la nación, la prevención del daño ambiental y la restauración de las áreas naturales degradadas.

En su artículo 276, señala el enfoque de desarrollo que tiene como objetivo 4: Restaurar y conservar la naturaleza mantener un medio ambiente saludable y sostenible y asegurar el acceso equitativo, sostenible y de calidad al agua, aire y suelo, así como los beneficios de los recursos de la tierra y el patrimonio natural para todos, se lo aseguro a la gente.

En la sección 395 establece que “La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: El Estado garantiza un modelo de desarrollo sostenible, equilibrio ecológico y respeto a la diversidad cultural, conservación de la biodiversidad y resiliencia a la creación natural del ecosistema, asegurando al mismo tiempo la satisfacción de las poblaciones y de las generaciones futuras. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán en gran escala y serán vinculantes para el Estado en diferentes ámbitos a nivel y para todas las personas naturales o jurídicas presentes en el territorio nacional, el Estado asegura la participación regular de las personas, comunidades, pueblos y naciones afectadas. En la planificación, realización y control de cualesquiera actividades que tengan un impacto sobre el medio ambiente. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones de la legislación ambiental, estas disposiciones se aplicarán de la manera más favorable para la protección de la naturaleza.

En el artículo 396 establece que “El Estado debe adoptar políticas y medidas adecuadas para evitar impactos negativos sobre el medio ambiente, cuando no exista duda de que existe riesgo de daño. Si existe duda sobre el impacto ambiental de cualquier acción u omisión, aun cuando no exista evidencia científica de daño, el Estado tomará medidas de protección efectiva y oportuna.

En su artículo 413 señala que “El Estado promoverá la eficiencia energética, el

desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ecológicamente sanas y limpias, así como de energías renovables, diversas y de bajo impacto”, sin perjuicio de la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico del ecosistema y como el derecho al agua”.

2.12.2 CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA)

Es la norma más importante del país en la parte ambiental, este se regula con aquellos temas necesarios para una correcta gestión ambiental abordando temas como cambio climático, áreas protegidas, vida silvestre, patrimonio forestal, calidad ambiental, gestión de residuos, incentivos ambientales, zona marino-costera, manglares, acceso a recursos genéticos, bioseguridad, biocomercio (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2017).

En el artículo 26, se refiere a la “Capacidad de los Gobiernos Autónomos Provinciales Descentralizados en Asuntos Ambientales. En el marco de sus facultades específicas y concurrentes en materia ambiental,” en su numeral 8. “Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido”.

Del artículo 27, numeral 8 “Comprobación del cumplimiento de los parámetros ambientales y aplicación de las normas técnicas sobre los componentes agua, suelo, aire y ruido”.

Artículo 191, señala: “Monitorear la calidad del aire, del agua y del suelo, vigilar y controlar y cumplir con los reglamentos y normas técnicas”.

En su Art. 193 sobre “Evaluación adicional de la calidad del aire. La Agencia Nacional del Medio Ambiente o el gobierno autónomo descentralizado competente, según el caso, ordenará evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de los recursos que emitan o puedan emitir olores peligrosos o contaminantes atmosféricos”.

2.12.3 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)

Es un instrumento normativo, en el cual se establecen políticas básicas ambientales del Ecuador, reconociendo que el principio fundamental que debe trascender el conjunto de políticas es el compromiso de la sociedad de promover el desarrollo hacia la sustentabilidad (TULSMA, 2017).

En la reforma del texto unificado que se estableció en el acuerdo ministerial 097, el libro VI del TULSMA en el anexo 4 que fue decretada bajo el amparo de la ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la ley de Gestión Ambiental para la prevención y Control de la Contaminación Ambiental, la presente norma ambiental establece los objetivos de calidad del aire ambiente, los límites permisibles de los contaminantes criterio y contaminantes no convencionales del aire ambiente, así como también los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente. (Ministerio de Ambiente, 2015)

En su ANEXO 4 Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, manifiesta que para esta norma se han establecido los siguientes criterios como contaminantes atmosféricos:

Partículas (PM10) menores de 10 micras: La media aritmética de las concentraciones de PM10 en todas las muestras recolectadas durante un año no debe exceder los cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, la concentración máxima en un período de 24 horas no debe superar los ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y este valor no debe excederse más de dos veces al año.

Partículas (PM2.5) menores a 2.5 micras: Se ha establecido que la media aritmética de las concentraciones de PM2.5 en todas las muestras recolectadas durante el año no debe superar los quince microgramos por metro cúbico ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Asimismo, ninguna muestra recolectada en un período de 24 horas debe exceder una concentración máxima de sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

- Sedimentación de partículas.
- Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras. Abreviatura de PM10.
- Partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 (dos quintos) micras. Abreviatura de PM2.5.
- Dióxido de nitrógeno NO₂
- Dióxido de azufre SO₂.
- Monóxido de carbono CO
- Gas CO.
- Ozono O₃.

Una medida general de la concentración de contaminantes estándar en el aire alrededor de las partículas señala como concentración máxima para muestras tomadas de forma continua durante 30 días es de 1 miligramo por centímetro cuadrado ($\frac{1 \text{ mg}}{\text{cm}^2} \times 30 \text{ d}$).

- **Material particulado menor a 10 micrones (PM10)**

La concentración promedio de PM10 para todas las muestras durante un período de un año no deberá exceder los 50 microgramos por metro cúbico (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima de 24 horas en todas las muestras tomadas no deberá exceder los 150 microgramos por metro cúbico (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y este valor no deberá excederse dos veces al año.

- **Material particulado menor a 2,5 micrones (PM2.5)**

Se ha establecido que la concentración promedio de PM2.5 para todas las muestras durante un período de un año no debe exceder los 15 microgramos por metro cúbico (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima de 24 horas en todas las muestras tomadas no deberá exceder los 65 microgramos por metro cúbico (65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y este valor no deberá excederse dos veces al año.

- **Dióxido de azufre (SO₂)**

La concentración promedio de SO₂ medida para todas las muestras en un año no debe exceder los 80 microgramos por metro cúbico (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La

concentración máxima de 24 horas no deberá exceder los 350 microgramos por metro cúbico ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y no más de una vez al año.

- **Monóxido de carbono (CO)**

La concentración de monóxido de carbono en las muestras se midió de manera continua durante 8 horas para asegurar que no excediera los 10,000 microgramos por metro cúbico ($10,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez al año. Además, la concentración máxima de monóxido de carbono por hora no debe superar los 40,000 microgramos por metro cúbico ($40,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez al año.

- **Óxidos de nitrógeno, expresado como NO₂**

La concentración promedio de óxidos de nitrógeno, expresada como NO₂, medida en todas las muestras durante un período de un año, no debe exceder los 100 microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, la concentración máxima en un período de 24 horas no debe exceder los 150 microgramos por metro cúbico ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de dos veces al año.

Las mediciones observadas de las concentraciones de los contaminantes del aire deben ser corregidas de acuerdo con las condiciones específicas de la localidad en la que se realizan dichas mediciones. Para ello, se utilizará la ecuación 2.2.

$$C = C_o * \frac{760\text{mmHg}}{P_{blmm}} * \frac{(273+t^{\circ}\text{C})^{\circ}\text{K}}{298^{\circ}\text{K}} \quad [2. 2]$$

Los siguientes niveles de advertencia, alarma y emergencia se establecen en función de la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Agencia de Fiscalización Ambiental responsable de un Sistema Único de Gestión Ambiental cuando se excedan uno o más de los criterios enumerados para las concentraciones que se muestran en la Tabla 2.3 o cuando se esperen condiciones atmosféricas consideradas desfavorables durante las próximas 24 horas.

Tabla 2.3.

Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

Contaminante y Periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1500 0	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	300	600	800
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1200	230 0	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	800	160 0	2100
Material particulado PM10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material particulado PM2,5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65	-	-
Contaminante no convencional	Nombre, referencia y descripción del método		
	Nombre: Espectrometría de Absorción Atómica. Referencia: Method IO 3.2. Determination of metals in ambient particulate		

Fuente: TULSMA (2017).

2.12.4 PROTOCOLO DE KYOTO

Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y un acuerdo internacional que tiene por objetivo facilitar la reducción de las emisiones de seis gases de efecto invernadero (Comisión Europea, 2012). Se basa en los principios y disposiciones establecidos en el convenio, siguiendo su estructura basada en los anexos.

Se centra en los países desarrollados y más industrializados, que se consideran la principal fuente y causa de las altas emisiones de gases. Así, el Protocolo de Kioto impone a estos países una carga más pesada para limitar y reducir los niveles de emisiones de GEI en la atmósfera, además de la

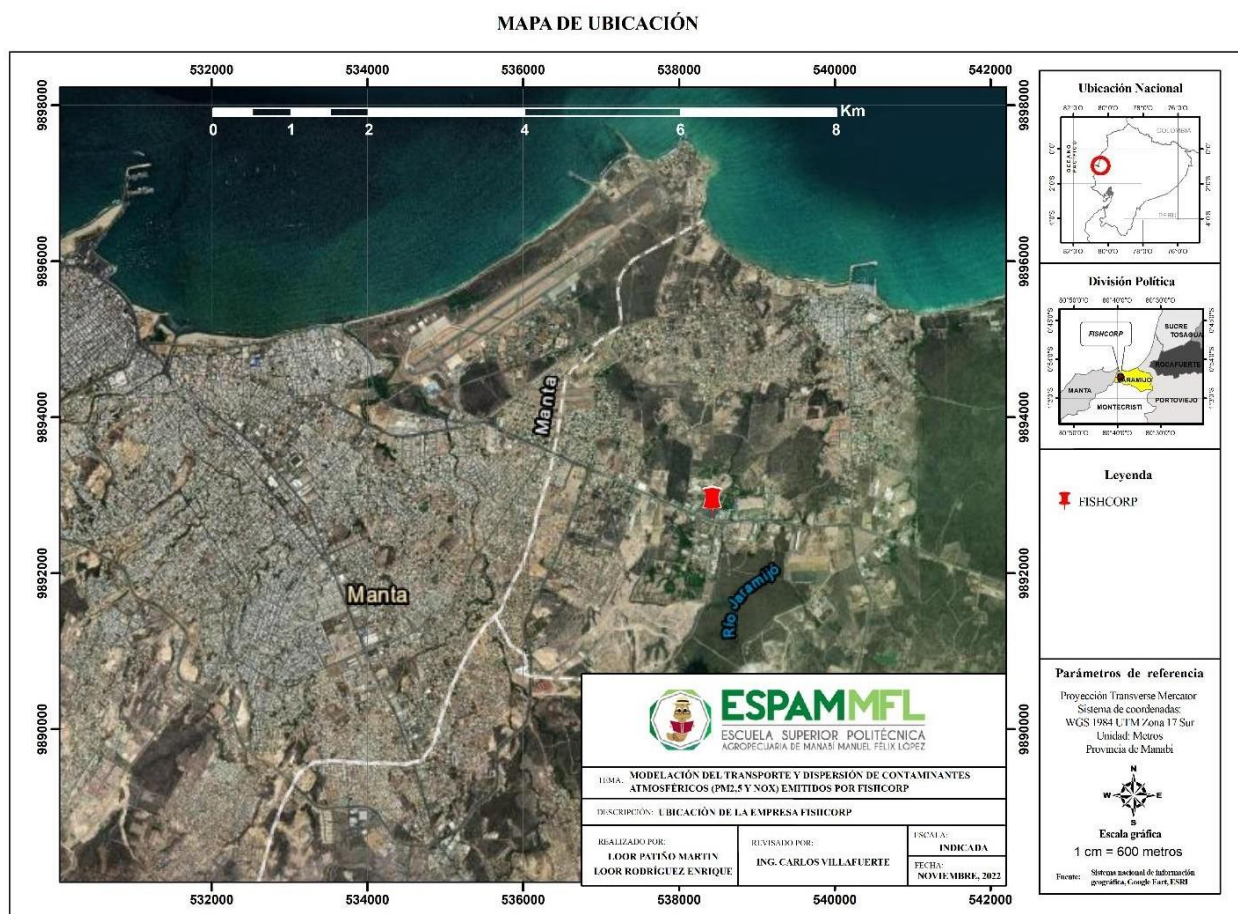
implementación de políticas y tecnologías verdes que contribuyan al respeto por el medio ambiente, los mercados y una producción industrial óptima (Naciones Unidas, 2020).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La investigación se efectuó en la empresa Atunera Fishcorp S.A. que se encuentra en el cantón Jaramijó, en el km 4 $\frac{1}{2}$ de la vía Manta – Rocafuerte.

Ubicada geográficamente en el cuadrante de coordenadas 538213.11 Sur (S), y 9892832.94 Oeste (O), con una altitud de 48 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) de la zona 17 M, UTM.



Fuente: Loor M. y Loor E. (2022).

3.2 DURACIÓN

El presente trabajo tuvo una duración de 12 meses comprendiendo dos fases la de planificación y ejecución de la investigación.

3.3 MÉTODOS

3.3.1 MÉTODO CUANTITATIVO

Este método se basa en el uso que se le da a los análisis cuantitativos para investigar y construir teorías con base en el estudio de los fenómenos con una realidad determinada, esta se orienta en la obtención de medidas numéricas y objetivas, hechos, hábitos y opiniones. En esta investigación se utilizó para el reconocimiento de los aspectos numéricos que fueron relevantes en los resultados de la aplicación del modelo gaussiano (Ero *et al.*, 2013; Neill *et al.*, 2018).

3.3.2 MÉTODO DEDUCTIVO

En este método, las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones. Se utilizó el razonamiento deductivo ya que permitió pasar de afirmaciones generales a unas más específicas usando las reglas de la lógica. Mediante la construcción de hipótesis en base a la relación de las variables para realizar una medición logrando así su confirmación o refutación (Neill *et al.*, 2018; Dávila, 2006).

3.3.3 MÉTODO EXPLORATORIO

Con la aplicación de este método se alcanzó una visión general y estimada del tema en estudio; además se recopiló información, se identificó antecedentes generales, se ubicaron aspectos relevantes, como tendencias y relaciones potenciales entre las variables estudiadas (Bernal, 2010). Se aplicó este método en la etapa inicial una etapa inicial del proceso de investigación, ya que es el primer peldaño para continuar con investigaciones más avanzadas como son las descriptivas, las correlacionales y las explicativas (Zafra, 2006).

3.3.4 MÉTODO ANALÍTICO

Permiten al investigador conocer la realidad, ya que consisten en descomponer un objeto de estudio y separar cada una de las partes para estudiarlas de forma individual (Bernal, 2010). En la investigación este método ayudó en la obtención de pruebas para verificar o validar razonamientos a través de

mecanismos verificables como la estadística, la observación de fenómenos o la replicación experimental.

3.4 TÉCNICAS

3.4.1 BIBLIOGRÁFICA

Esta técnica de investigación ayudó a explorar lo que se ha escrito y publicado antes acerca de la dispersión de contaminantes en la atmósfera, tanto de artículos científicos, revistas, libros (Rizo, 2015).

3.4.2 OBSERVACIÓN

Se realizaron visitas a la empresa FISHCORP, las cuales fueron parte fundamental para el reconocimiento del área. Así como también la recolección de información importante para determinar la realidad de los problemas existentes y la toma de apuntes sobre cada detalle generado (Cerdeña, 2015).

3.4.3 MODELO GAUSSIANO

El modelo Gaussiano se aplicó dentro del software AERMOND VIEW, el cual es un modelo que sirve para la modelización del transporte de contaminantes, que a su vez se emplea para la determinación de la variación de la concentración de un determinado contaminante en el espacio y tiempo (Gallegos, 2016).

3.5 VARIABLES A MEDIR

3.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

- Variables meteorológicas
- Condiciones topográficas
- Característica de emisión

3.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Concentración de los contaminantes a nivel del suelo (μ/m^3).

3.6 PROCEDIMIENTO

3.6.1 FASE I. ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EMITIDOS POR FISHCORP S.A. MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO PARA LA PREDICCIÓN DE SU DISPERSIÓN

Actividad 1. Recopilar y procesar los datos correspondientes a la fuente de emisión, variables meteorológicas y datos topográficos del espacio geográfico

Mediante una disposición verbal con las autoridades de la empresa Fishcorp S.A., se efectuó una visita orientada al estudio de las emisiones de PM 2,5 y NOx, a través del recorrido se identificaron los tres puntos de muestreo con la finalidad de analizar las concentraciones mínimas y máximas de la fuente de emisión, además se registraron aspectos generales en una ficha de observación (anexo 1). Los datos específicos de la fuente de emisión (Tasa de emisión, velocidad de salida de gases, temperatura de salida de gases, caudales, altura de chimenea y diámetro de chimenea), fueron proporcionados por la empresa Fishcorp S.A., esto se llevó a cabo de acuerdo con lo mencionado por Gallegos, (2016).

La información meteorológica (dirección del viento, temperatura, velocidad del viento) que se empleó para el modelo de dispersión fue facilitada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que es la entidad encargada de la red de Estaciones Meteorológicas Costeras del Ecuador. La base de datos procedió de las estaciones meteorológicas de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) y de la del Aeropuerto Internacional Eloy Alfaro (Cortina, 2012).

Las características topográficas (relieves, muros, edificios, calles) del área de estudio, además de los asentamientos poblacionales se obtuvieron por medio de imágenes satelitales de modelos de elevación digital (MED) procesadas en los programas de ArcGIS y Autocad, efectuado mediante la metodología según (Zuluaga *et al.*, 2016).

Actividad 2. Ajustar el modelo de dispersión atmosférica AERMOD VIEW

El modelo de dispersión atmosférica se realizó por medio de AERMET, el cual procesó los datos meteorológicos obtenidos del INAMHI y AERMAP que se encarga del procesamiento de datos topográficos; finalmente a través de ambos se generaron simulaciones que se aproximan a la concentración máxima de emisiones de la fábrica, la adaptación del modelo se realizó de acuerdo con lo propuesto por Silva *et al.*, (2011).

Mediante el procesamiento de datos en AERMOD VIEW, se identificaron los receptores, donde se estableció la región Manabí y se especificaron los contaminantes a medir PM 2.5 y NOx. Con respecto a los parámetros físicos de la chimenea y tomando en cuenta que no superó los 20 metros de altura, el área de cobertura del modelo fue de 5 km² de acuerdo con la metodología señalada por la EPA, (2022).

3.6.2 FASE II. COMPROBACIÓN DE LA COHERENCIA ENTRE LAS EMISIONES DESCARGADAS POR FISHCORP S.A. EN BASE A LA PREDICCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO (GAUSSIANO)

Actividad 3. Medir la concentración de los contaminantes en los puntos cruciales para comprobar eficiencia del modelo matemático.

A través del Sistema de Posicionamiento Global o por sus siglas en inglés Global Positioning System [GPS] y el software ArcGis 10.4 se procesó el mapa de la zona de estudio. Se efectuó acorde a lo establecido por Zuluaga *et al.* (2016), que explica la importancia de especificar puntos de muestreo claves para modelos de dispersión, considerando las características topográficas y meteorológicas del área a estudiar.

Se establecieron los tres puntos de muestreo alrededor de la compañía en un radio de 5km, éstos fueron claves para efectuar la medición de emisiones de PM 2,5 y NOx empleando el equipo de calibración (serie BT-6000), lo que permitió verificar que las medidas realizadas sean correctas o aproximadas a la misma, para constatar los datos de concentración del modelo, de acuerdo con lo establecido por Zuluaga *et al.*, (2016).

Monitoreo de la concentración de PM 2.5: Se tomaron 5 muestras en cada punto de monitoreo de concentración de contaminante, las cuales se realizaron durante el horario de trabajo de la empresa de 9:00 a 18:00, con intervalos de 30 minutos entre muestras durante los días laborables durante cinco meses que comprendieron desde agosto a diciembre del año 2020, y se efectuaron a una altura relativa al contaminante entre 1.20 m en tierra, con registro de la fecha, y observaciones del equipo de monitoreo, y posterior se comparó con las emisiones de los días hábiles y no hábiles de la empresa, el muestreo se efectuó de acuerdo a la metodología empleada por Reyes, (2020).

Monitoreo de concentración de NO_x: Se llevó a cabo la medición a intervalos periódicos basados en mediciones de emisiones realizadas de forma continua, se hizo en el periodo de trabajo de la empresa de los 5 días a la semana laborables de 9:00 a 18:00 con un día no laboral para la comparación de emisiones producidas por la empresa, durante cinco meses que comprendieron desde agosto a diciembre del año 2020. Se efectuó durante 8 horas en un intervalo de 30 minutos entre muestra con una frecuencia de 5 veces por semana y a una altura con respecto al suelo de 1.20 m, este procedimiento se realizó de acuerdo con lo establecido por EPA, (2022).

Actividad 4. Comparar los resultados con la normativa nacional vigente.

La comparación se efectuó con los datos del modelo de dispersión y las concentraciones medidas a nivel de suelo y a su vez, con los límites permisibles del Anexo 4 del TULSMA para verificar si los valores se encuentran dentro de los parámetros legales, y comprobar la eficacia del modelo de dispersión diseñado (TULSMA, 2017)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESTIMACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EMITIDOS POR FISHCORP S.A. MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO PARA LA PREDICCIÓN DE SU DISPERSIÓN

La compañía FishCorp S.A. facilitó información sobre la fuente de emisión, la cual es una caldera con la que trabaja la planta de producción para la elaboración de conservas de atún, a continuación, en la tabla 4.1 se detallan las características técnicas de la caldera de marca Equaboiler:

Tabla 4.1

Especificaciones técnicas de la caldera de FishCorp S.A.

Parámetros	Caldera Equaboiler
Tipo de fuente	Caldera
Consumo de combustible	60 gal/h
Tipo de combustible	Diesel
Horas de funcionamiento	24h
Diámetro de la chimenea	0.37 m
Altura de la chimenea	14 m
Tasa de emisión	NOx 100 ug/m ³ – PM 2.5 60 ug/m ³

Fuente: Fishcorp S.A., (2022).

Los datos climatológicos y meteorológicos del área de estudio se detallan en la tabla 4.2, donde la temperatura mínima promedio es de 25°C y máxima de 35°C, la humedad relativa en época de lluvias es de 94% y en época seca es de 35%. Además, gracias a la información obtenida, se modeló y representó su orientación mediante rosas de los vientos.

Tabla 4.2

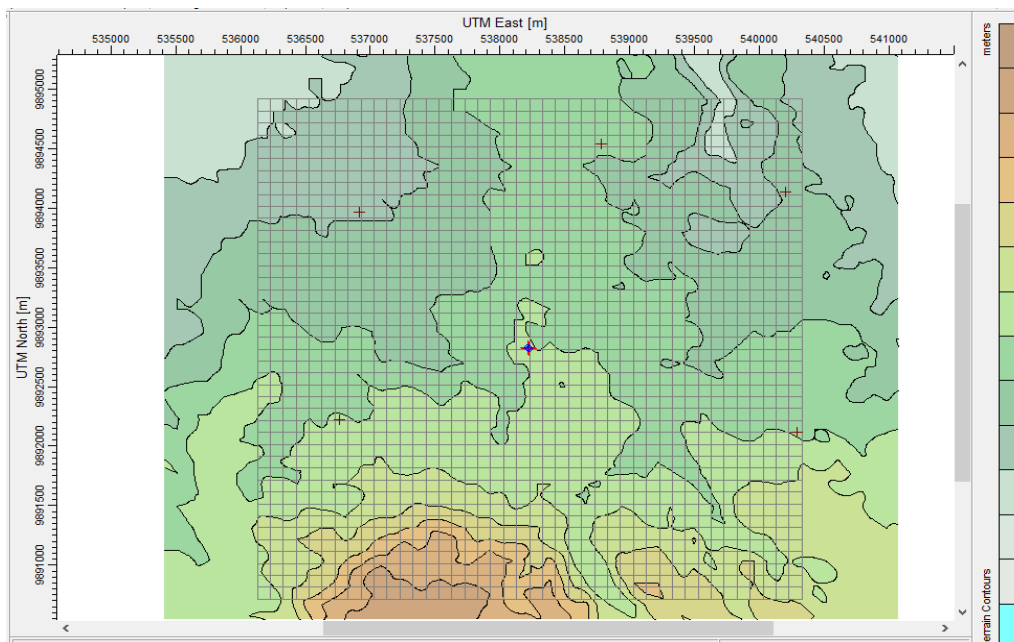
Datos meteorológicos, promedios mensuales 2020.

Mes	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Precipitación (mm)
Enero	222	15.37	0.02
Febrero	224	15.63	0.05
Marzo	222	7.8	0.04
Abril	226	7.99	0.03
Mayo	222	9.46	0.04
Junio	222	10.46	0.06
Julio	224	9.27	0.02
Agosto	226	10.87	0.03
Septiembre	223	11.23	0.06
Octubre	224	10.88	0.06
Noviembre	226	9.18	0.04
Diciembre	227	10.61	0.06
Promedio	223	11	0.4

Fuente: Datos tomados de INAMHI (2020).

A continuación, se muestra en la figura 4.1 la representación cartográfica del terreno, el cual muestra un suelo bastante erosionado, presenta zonas de ligeras elevaciones montañosas secuenciales y con poca altura. También muestra un trazo de calles que se ajustan a un modelo cuadrado y regular. Se considera una zona con desniveles dada la ubicación geográfica, así como las características se atribuyen en parte a la brisa marina y salinidad, por la proximidad con el mar.

Figura 4.1. Mallado multinivel AERMOD.

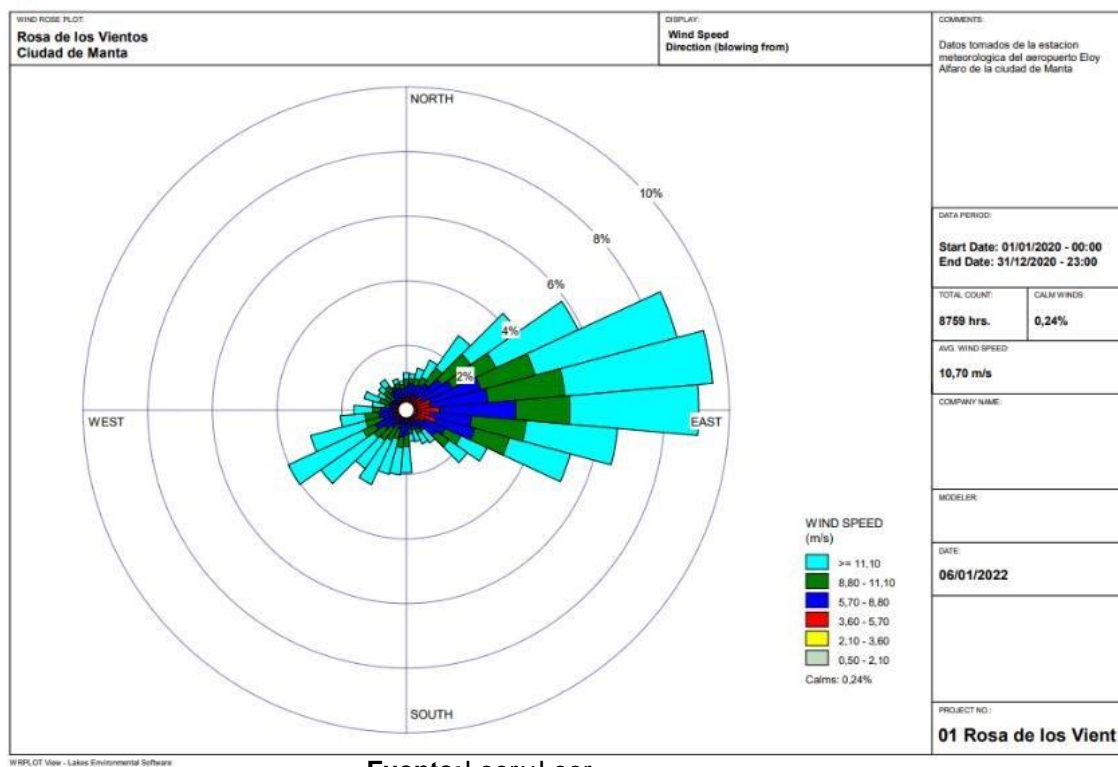


Fuente: Loor y Loor (2022).

Con los datos de la tabla 4.2, se representó gráficamente el comportamiento del viento y su dirección predominante a través de una rosa de los vientos que se muestra en la figura 4.2. El vector resultante se considera una forma común de representar la dirección principal del viento, es decir, la magnitud de este vector refleja la frecuencia de la dirección media; por lo que el gráfico calcula un vector resultante de 19 grados al Noreste.

En la figura 4.2 de la rosa de los vientos, es evidente que existe predominancia hacia el noreste y su velocidad es elevada, los autores concuerdan con lo señalado por Blanco (2020), el cual expresa que la dirección del viento es uno de los factores que influyen en la concentración de los contaminantes en el aire, por lo que contribuye en su dispersión y dilución en la zona de estudio.

Figura 4.2. Rosa de los vientos.



Las características, especificaciones técnicas de la caldera Equaboiler de la empresa FishCorp y datos meteorológicos de la fuente modelada se sintetizan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3.

Características y datos meteorológicos de la fuente modelada.

Empresa FishCorp S.A.	
Caldera	Equaboiler
Tasa de emisión	NOx 100 (ug/m ³)-PM 2.5 60 (ug/m ³)
Diámetro (m)	0.37
Altura desde nivel del suelo (m)	14
Temperatura de salida (°K)	197.1
Velocidad de salida del gas (m/s)	11
Parámetro de estabilidad	8.7
Velocidad del Viento (Km/h)	15
Dirección del viento (°)	SSO
Temperatura del Aire (°C)	22

Fuente: Loor y Loor (2022).

El modelo obtenido de dispersión atmosférica para la fuente de emisión fija que fue la caldera de marca Equaboiler de la empresa Fishcorp S.A. y el área circundante a la misma compañía como zona de estudio, reflejan los datos en la tabla 4.4., en la cual se obtuvo una concentración de 1333 ug/m³ de óxidos de nitrógeno (NO_x) en un período de 24 horas, mientras que el material particulado presentó una concentración de 1689 ug/m³ en el mismo período en un radio de 5 km. Las concentraciones que refleja el modelo realizado con AERMOD View se establecieron en el segundo punto de muestreo en las coordenadas 9893894.00 (N) y 535579.10 (S), debido a que está la fuente de emisión de contaminantes, por esta razón el resultado obtenido muestra los niveles máximos en ambas sustancias.

Tabla 4.4.

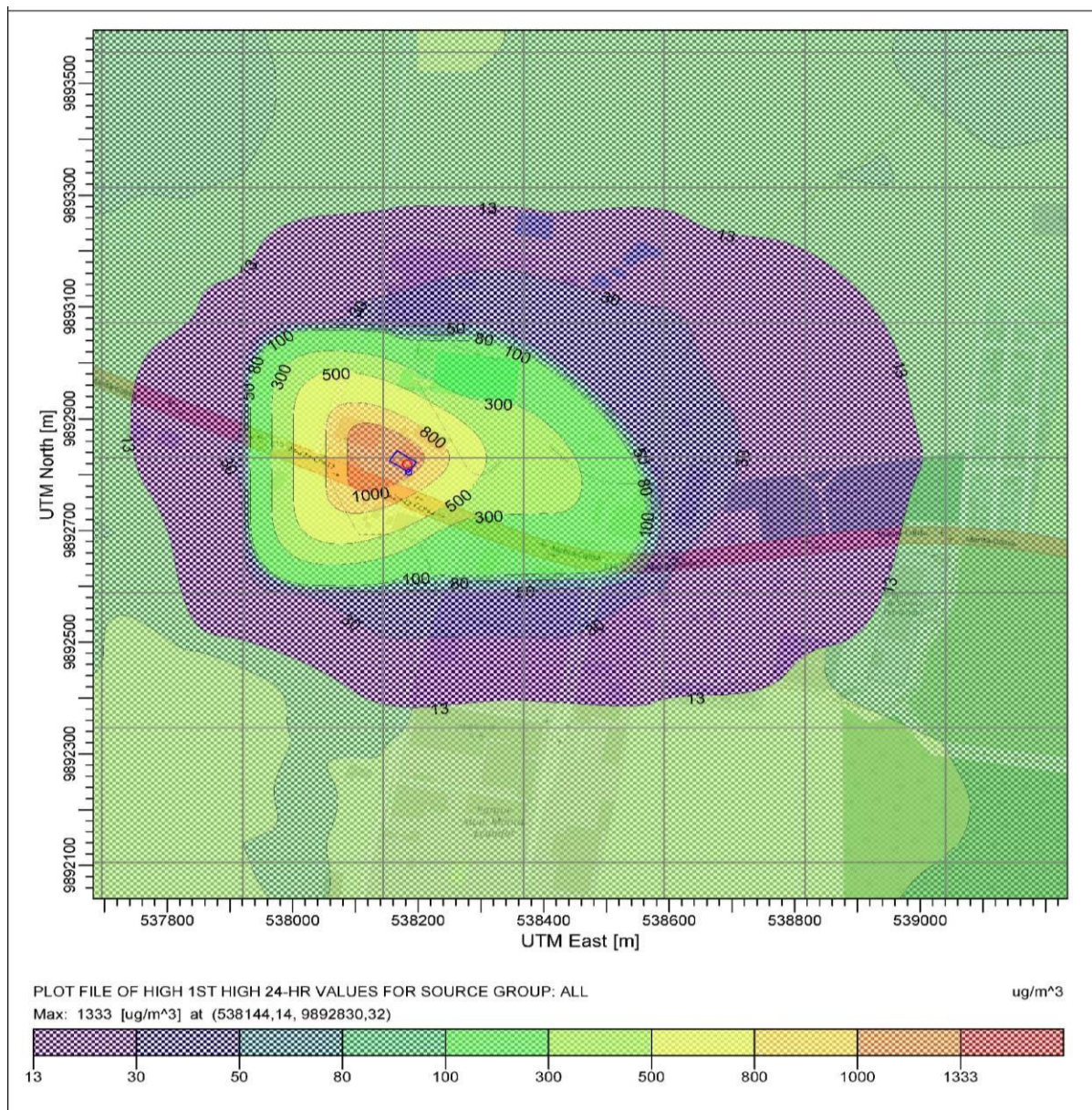
Concentraciones obtenidas por el modelo de dispersión AERMOD View.

Contaminantes	Periodo	Concentración máxima estimada	Unidades	Coordenadas (m)
NO _x	24-hr	1333	ug/m ³	X= 538144.14 Y= 9892830.32
PM 2.5	24-hr	1689	ug/m ³	

Fuente: Loor y Loor (2022).

La figura 4.3 representa la distribución geográfica, los puntos de recepción y las curvas de concentración de óxido de nitrógeno (NO_x), las cuales se diferencian por colores. Según la escala del gráfico, los valores se muestran en un nivel máximo de concentración de 1333 ug/m³, por lo que se encuentra en un estado de emergencia de contaminación de aire según lo señala el TULSMA (2017). Según un estudio realizado en la zona industrial de Cuenca por Avilés *et al.* (2018) en el cual determinaron concentraciones elevadas de NO_x de 19,6781e¹¹ug/m³ en la modelación que hicieron, por lo que implica riesgos para la salud de los habitantes a largo plazo, provocando posibles irritaciones a las vías respiratorias y problemas pulmonares.

Figura 4.3. Modelación del contaminante NOx.



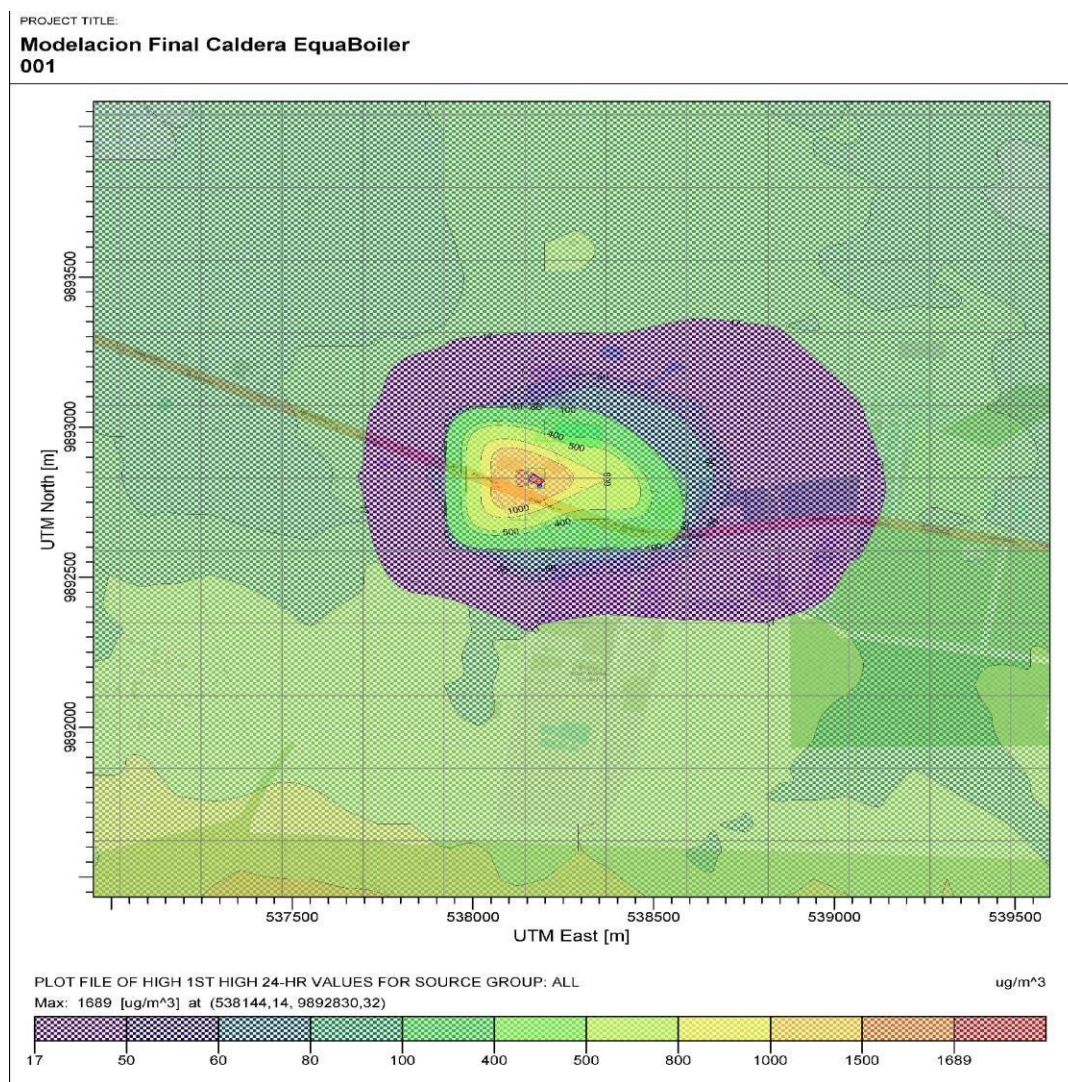
Fuente: Loor y Loor, (2022).

También es posible observar en la figura 4.4 la distribución geográfica, los puntos de recepción y las curvas de niveles distinguidas por colores, teniendo como resultante de la modelación una concentración de 1689 ug/m³ de PM 2.5. De acuerdo con la representación gráfica, es visible que los resultados se reflejan como nivel máximo, dado que están simulados cerca a la fuente de emisión, esta concentración elevada muestra que sobrepasa los niveles al

estar en la escala del color rojo, lo que significa que existe contaminación por esta sustancia.

La OPS (2015) y Mudad (2015) señalan que la influencia del viento y la temperatura puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en una zona, debido a que, a mayor velocidad del viento y mayor temperatura, incrementará la concentración de contaminantes en el aire. Y como consecuencia los resultados de la presente investigación reflejan haber sido condicionados por estas variables meteorológicas. El material particulado es una sustancia que logra penetrar hasta las partes más profundas del sistema respiratorio aumentando los factores de coagulación de la sangre y agravando enfermedades isquémicas del corazón, por lo que sus elevadas concentraciones generan preocupación por la salud de las personas que habitan alrededor.

Figura 4.4. Modelación del contaminante PM 2.5.



Fuente: Loor y Loor, (2022).

4.2 COMPROBAR LA COHERENCIA ENTRE LAS EMISIONES DESCARGADAS POR FISHCORP S.A. CON BASE A LA PREDICCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO (GAUSSIANO).

De acuerdo con el recorrido que se efectuó alrededor de la empresa y los datos proporcionados mediante la ficha de observación (anexo 1), se establecieron tres puntos de muestreo circundantes a la compañía Fishcorp S.A. con la finalidad de analizar las concentraciones mínimas y máximas de la fuente de emisión, contemplando las características meteorológicas y topográficas del sector. A continuación, en la tabla 4.5 se detallan las coordenadas correspondientes a los puntos de muestreo y su respectiva representación cartográfica en la figura 4.5, elaborada mediante el software ArcGis.

Tabla 4.5

Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

LUGAR	X ₁	Y ₁
PUNTO 1	540239. 86	9892292. 04
PUNTO 2	535579. 10	9893894. 00
PUNTO 3	537925. 88	9894758. 99

Fuente: Loor y Loor (2022).

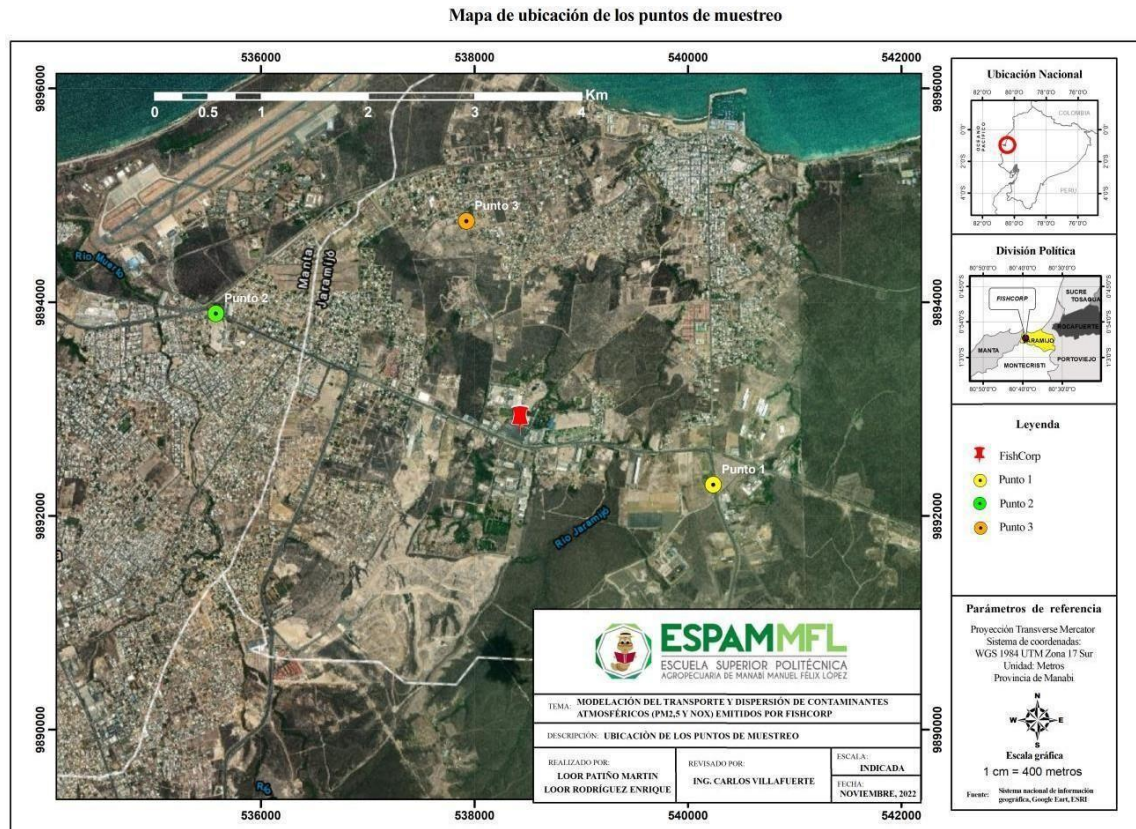


Figura 4.5. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.

Fuente: Loor M. y Loor E. (2022).

En la tabla 4.6 se detallan las concentraciones promedio de los tres puntos de muestreo de la presente investigación. Se aprecia que los niveles más elevados se encuentran en el punto 2 de muestreo, teniendo una concentración de 1335 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de óxidos de nitrógeno (NO_x) y 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado ($\text{PM}_{2.5}$), no obstante, en los puntos 1 y 3 presentan concentraciones bajas. Estos resultados son semejantes con los del estudio de impacto ambiental realizado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y Autoridad Portuaria de Manta en el año 2018, quienes se encargaron de monitorear la calidad de aire en la zona circundante al terminal portuario de Manta la cual también se ve afectada por las industrias de la ciudad, encontrando niveles moderados de NO_x y $\text{PM}_{2.5}$, por lo tanto concluyeron que no había afectación grave para los ciudadanos y el ambiente.

No obstante, estos contaminantes con sus concentraciones bajas, medias o altas, a largo plazo tienen impacto en la calidad del aire, afectando la salud de las personas y el entorno en el que habitan (Reyes, 2020). Por lo que es

importante tomar acción en el control de las emisiones de estos y hacer frecuentemente los monitoreos, para poder mitigar los daños (Rivadeneira, 2022).

También se comprueba la eficiencia de la modelación realizada con el software AERMOD VIEW, en comparación con la medición del calibrador teniendo resultados aproximados en el punto 2, el modelo presenta concentraciones máximas de 1333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NOx y 1689 PM 2.5 al igual que los datos medidos con el equipo que presenta 1335 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NOx y 1200 PM 2.5, si bien, la diferencia entre estos datos es mínima, es confiable aplicar este tipo de programas para realizar la estimación de contaminantes atmosféricos. De la misma forma lo aprueban Cabrera (2012) y Avilés *et al.* (2018), quienes lograron con sus modelos de dispersión tener resultados confiables y acordes a los que se toman con los equipos de calibración in situ.

Cabrera (2012) midió con el calibrador una concentración de NOx de 63,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el modelo de SCREEN 3 le estimó 79,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ confirmando la eficacia de estos programas y la coherencia de las estimaciones de los contaminantes atmosféricas. Mientras que Avilés *et al.* (2018) demostró concentraciones del modelo aplicado de NOx de 19,6781e¹¹ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las del monitoreo con el equipo fueron de 26,657 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ teniendo una muy buena aproximación, con una diferencia mínima. Corroborando que la modelación con diferentes programas es exitosa y fiable, ahorrando tiempo y siendo eficaces para la práctica.

Tabla 4.6

Comparación de las concentraciones del modelo de dispersión, las medidas con el calibrador y la normativa.

Concentraciones tomadas con el calibrador (serie BT-6000)	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Concentraciones de la fuente modelada	Límite	Unidad	Período
					Máximo Permisible del Anexo 4-TULSMA		
NOx	50	1335	51	1333	150	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h
PM 2.5	6	1200	11	1689	65		

Fuente: Loor y Loor (2022).

Se observa que ambas concentraciones de los contaminantes en los puntos de

muestreo 1 y 3 están dentro los límites máximos permisibles señalados en el TULSMA (2017) para la fuente de emisión Caldera Equaboiler, sin embargo a largo plazo, según la legislación ambiental vigente y Ubilla *et al.* (2016) puede presentar un estado de emergencia, debido a que los contaminantes atmosféricos son móviles dadas las condiciones meteorológicas, así como pueden provocar contaminación al suelo y agua por su persistencia en el entorno.

Consecuentemente los contaminantes atmosféricos analizados tienden a ser persistentes en el ambiente, provocando de esta manera contaminación en períodos extensos en la naturaleza, dada la facilidad de transportarse por el viento o temperatura, así como por otras variables meteorológicas que condicionan su movilidad (Pérez, 2017).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Existe un impacto significativo en la calidad del aire en la ciudad de Jaramijó por la presencia de contaminantes como PM 2.5 y NO_x cuyos niveles elevados de polución atmosférica, tienen efectos adversos en la salud de los residentes y en el medio ambiente local. Estos contaminantes pueden contribuir al desarrollo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como a la degradación del ecosistema.
- La modelación del transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos permite identificar las áreas más afectadas por las emisiones de FishCorp y los patrones de dispersión de los contaminantes. Esto proporciona información crucial para la implementación de medidas de mitigación y control. Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que es necesario que FishCorp tome medidas para reducir sus emisiones de PM 2.5 y NO_x. Estas medidas pueden incluir la instalación de tecnologías de control de emisiones, la mejora de los procesos de producción o la adopción de fuentes de energía más limpias.
- Las autoridades locales pueden utilizar los resultados de la modelación para implementar políticas públicas y regulaciones ambientales más estrictas que promuevan la reducción de la contaminación atmosférica en la ciudad de Jaramijó.

5.2. RECOMENDACIONES

- Que, se continúe con este tipo de investigaciones, las cuales contribuyen con alternativas para las empresas industriales en el control de emisiones atmosféricas.
- Es importante difundir información dentro de la empresa para que se tomen acciones preventivas sobre las emisiones que a largo plazo representan un gran impacto en el ambiente.
- Qué, las empresas pares al objeto de investigación reconozcan la importancia de la implementación de los modelos de dispersión ya que son herramientas innovadoras que el sector industrial debe considerar en sus controles ambientales.
- Considerar en los controles ambientales el uso de los modelos de dispersión ya que son herramientas innovadoras y útiles para el sector industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Medicina. (2015). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. Revista de la Facultad de Medicina. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2022). Modelado de dispersión de la calidad del aire. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling>
- Avilés , D. y Rivera, M. (2018). “Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del parque industrial de la ciudad de cuenca, mediante los software screen view 3 y disper 5.2”. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28810/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. Colombia : PEARSON EDUCACIÓN.
- Blanco, E. (2020). La dispersión de los contaminantes. <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>
- Brown, J. (2013). Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical-Oxidants. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/42567
- Cabrera, J. (2012). Aplicación de un modelo de dispersión atmosférica. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3110_01.pdf
- Cerda, J. (2015). Las técnicas y sus métodos en la investigación. Monografias: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/tecnicas-y-sus-metodos-investigacion/tecnicas-y-sus-metodos-investigacion.shtml#laobservaa>
- Codigo Orgánico del Ambiente (COA). (2017). https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

- Comisión Europea. (2012). Kioto: primer periodo de compromiso (2008-2012).
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/progress-made-cutting-emissions/kyoto-1st-commitment-period-2008-12_es
- Correa, A. (2011). Los Índices de Calidad del Aire: Alcances y Limitaciones. *Conciencia Tecnológica*, 74-76.
- Dávila, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. Caracas, Venezuela: Laurus.
- Domínguez, M. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. Scielo:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-0452015000100001
- Encinas, M. (2011). Medio ambiente y contaminación. Principios básicos.
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2009). Air Quality Index (AQI) - A Guide to Air Quality and Your Health.
<https://www.njaqinow.net/index.html>
- EPA U.S. (2004). AERMOD, description of model formulation.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1009OXW.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- Ero, D. y Alicia, S. (2013). Metodología cuantitativa: abordaje desde la complementariedad en ciencias sociales. *Revista de Ciencias Sociales*, 25-34.
- España, Y. (2013). Los modelos de simulación ambiental.
<https://es.scribd.com/document/447426934/Los-modelos-de-simulacion->

ambiental-son-herramientas-que-pretenden-simular-el-comportamiento-de-sistemas-complejos-a-partir-de-datos-fisicos-docx

Estrada, J. (11 de Enero de 2020). Entrevista Semi Estructurada Fishcorp. (P. Mafla, Entrevistador)

EstrucPlan. (2015). Transporte Y Dispersión De Contaminantes En El Aire Ambiental. <https://estrucplan.com.ar/transporte-y-dispersion-de-contaminantes-en-el-aire-ambiental/#:~:text=dispersar%20los%20contaminantes.-,La%20manera%20m%C3%A1s%20com%C3%BAn%20de%20dispersar%20los%20contaminantes%20del%20aire,que%20lleguen%20a%20las%20poblacione>

Eurofins Envira. (2021). Modelos de dispersión Atmosférica: qué son y cuál es su objetivo. <https://envira.es/es/modelos-de-dispersion-atmosferica/>

European Environment Agency. (2011). Modelling. <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC11a/page011.html>

FishCorp S.A. (2015). Productos y Servicios. . FishCorp S.A.: <http://fishcorp.redesisform.net/productos/>

Fundación Aquae. (2019). ¿Qué es la contaminación ambiental? <https://www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/>

Gallegos, E. (2016). Modelo Gaussiano. <https://es.scribd.com/document/301609906/Modelo-Gaussiano>

Hayas, A. (2011). Meteorología y contaminación atmosférica. Peculiaridades de la zona urbana de jaén. Instituto de Estudios Giennenses, 191-200.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2020). <https://www.inamhi.gob.ec/>

Martínez, J. (2018). Contaminación atmosférica. Researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/332230061_Contaminacion_atmosferica

- Merchán, J. (2017). Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto "Autoservicio Henry" ubicado en Manabí-Jaramijó. <https://maemanabi.files.wordpress.com/2017/06/estudio-autoservicio-henry.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf
- Ministerio del Ambiente de Peru. (2021). Transporte y dispersión. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/transporte-y-dispersion/>
- Ministerio del Ambiente y Aguas del Ecuador [MAAE]. (2015). Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria. <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+R+EFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe0626370fa108>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas y Autoridad Portuaria de Manta. (2018). *Reporte de evaluación de impacto ambiental y social para la reconstrucción y ampliación del terminal pesquero y cabotaje de la ciudad de Manta, provincia de Manabí*. Obtenido de https://www.finanzas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2019/03/2_R_EIAS-Puerto-de-Manta-comprimido.pdf
- Morgenstern, H. (1995). Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Rev Public Health*, 61-81.
- Naciones Unidas. (2020). ¿Qué es el Protocolo de Kyoto? https://unfccc.int/es/kyoto_protocol#:~:text=En%20concreto%2C%20el%20Protocolo%20de,con%20las%20metas%20individuales%20acordadas
- Neill, D. y Cortez, L. (2018). *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica*. Machala: UTMACH.
- Oliver, J. (2005). *Enciclopedia de climatología mundial*. Dordrecht: Springer.

- OMS. (2013). Organización Mundial de la Salud. https://www.who.int/topics/food_safety/es/
- OMS. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2015). Transporte Y Dispersión De Contaminantes En El Aire Ambiental. <https://estrucplan.com.ar/transporte-y-dispersion-de-contaminantes-en-el-aire-ambiental/#>.
- Páez, C. (2008). Gestión de la contaminación atmosférica urbana: el caso de Quito. [https://flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.Contaminacion Quito.pdf](https://flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.Contaminacion%20Quito.pdf)
- Pérez, D. (2017). Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales. INNOVA Research Journal, 23-34.
- Reyes, G. (2020). Evaluación del transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la refinería "La Libertad" mediante el modelo AERMOD VIEW. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/REYES%20URETA%20GABRIELA %20MARGARITA.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/REYES%20URETA%20GABRIELA%20MARGARITA.pdf)
- Rivadeneira, I. (2022). Modelación matemática de las emisiones de fuentes fijas de la refinería esmeraldas con el modelo aermod para evaluar su impacto sobre la calidad del aire. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22070>
- Rizo, J. (2015). Técnicas de investigación documental. <https://repositorio.unan.edu.ni/12168/1/100795.pdf>

Seangkiatiyuth, K., Surapipithb, V. y Tantrakarnapac, K. (2011). Application of the AERMOD Modeling System for Environmental Impact Assessment of NO₂

Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador. https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf

Superintendencia de Compañías, Valores y Seguro. (30 de Noviembre de 2019). Resumen Ejecutivo. SCVS: <https://www.supercias.gob.ec/portalscvs/index.htm>

UNICEF. (2016). Clean the air for children. <https://www.eafit.edu.co/minisitios/calidad-aire/Documents/contaminacion-efectos-salud.pdf>

Vidal, O. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. Scielo:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2018000100031

Villar, G. (2017). Estudio de modelos de dispersión y su aplicación al control industrial. <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/30263/PFC%20Villar%20Lagos%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zafra, O. (2006). Tipos de Investigación. Revista Científica General José María Córdova, 13-14.

Zuluaga, C. y Parra, J. (2016). Estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de cornare: informe general. https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_I.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de observación.



FICHA DE OBSERVACIÓN

Nombre de la Empresa:	FISHCORP S.A.
Nombres de los observadores:	Martín Loor y Enrique Loor

Objetivo: Observar e identificar los aspectos generales circundantes a la empresa FISHCORP S.A.

No.	ASPECTOS	SI	NO	TAL VEZ	OBSERVACIONES
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Anexo 2. Equipo de calibración utilizado para tomar muestras de contaminantes NOX Y PM 2,5.

