

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE PRODUCCIÓN Y
SERVICIOS**



**ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS DEBIDO A LOS GASES
CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN
INTERNA DEL PARQUE AUTOMOTOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

TESIS PRESENTADA POR EL MAESTRO:

LUIS ORLANDO PEREZ PEREZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

**DOCTOR EN CIENCIAS: CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA EN ENERGÉTICA**

ASESOR:

Dr. MILTON FLORIAN TALAVERA SOTO

AREQUIPA - PERÚ

2019

**ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS DEBIDO A LOS GASES
CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN
INTERNA DEL PARQUE AUTOMOTOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

TESIS PRESENTADA POR EL MAESTRO:

LUIS ORLANDO PEREZ PEREZ

JURADO:

Dr. Raúl Ricardo Sulla Torres

Dr. Gregorio Edgar Robles Falcón

Dr. Milton Florian Talavera Soto (Asesor)

DEDICATORIA

A Dios por permitirme tener una linda familia.

A Marianela mi esposa que me apoyó y comprendió en todo momento.

A mis hijos Fernando, Daniel y Victoria a quienes quiero y adoro mucho.

Luis Orlando Pérez Pérez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a las personas e instituciones que me apoyaron e hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

	Página
Asesor.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice general.....	v
Índice de tablas.....	xi
Índice de gráficos.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Contexto del Problema y su Relevancia.....	1
1.2 Definición del problema.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.3.1 Justificación Ambiental.....	2
1.3.2 Justificación Social.....	2
1.3.3 Justificación Económica.....	3
1.3.4 Justificación Legal.....	3
1.4 Delimitación de las partes del trabajo.....	5
1.5 Objetivo General.....	6
1.6 Objetivos Específicos.....	6
1.7 Hipótesis General.....	6
1.8 Hipótesis Especificas.....	6
1.9 Variables.....	7

CAPITULO II: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

2.1 Los Gases Contaminantes.....	8
2.1.1 Componentes de los Gases Tóxicos emitidos por vehículos motorizados.....	9
2.1.1.1 El monóxido de carbono (CO).....	10
2.1.1.2 Los óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂ , N ₂ O....NO _x).....	11
2.1.1.3 Los hidrocarburos (C _x H _y).....	12
2.1.1.4 El somg (" smoke " - humo, " fog " niebla).....	13
2.1.1.5 El humo.....	13
2.1.1.6 El hollín.....	16
2.1.1.7 Los aldehídos (formaldehído y acroleína).....	17
2.1.1.8 El dióxido de azufre SO ₂ y el ácido sulfhídrico H ₂ S.....	18
2.1.1.9 El dióxido de carbono (CO ₂).....	18
2.1.1.10 Partículas sólidas (PS).....	18
2.1.1.11 Compuestos de plomo.....	19
2.1.1.12 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).....	20
2.1.1.13 Olor de los gases de escape.....	21
2.2 Normas.....	23
2.2.1 Constitución Política del Perú.....	23
2.2.2 Ley General del Ambiente Ley N° 28611.....	23
2.2.3 Código Penal (Decreto Legislativo 635)	24
2.2.4 Ley General de Industrias (Ley 23407)	25
2.2.5 Reglamento de Aseo Urbano (D.SD 033-81-SA).....	25
2.2.6 Código Civil (Decreto Legislativo 295).....	25
2.2.7 Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (Decreto Supremo 007-85-VC).....	26
2.2.8 Reglamento del SENAMHI (Decreto Supremo 005-85-AER).....	26
2.2.9 Código de Transito y Seguridad Vial (Decreto Legislativo 420).....	27
2.2.10 Reglamento de Infracciones y Sanciones de Tránsito.....	28

2.2.11 Decreto Supremo N° 047-2001-MTC.....	28
2.3 Condiciones Ambientales de Arequipa.....	37
2.4 Impacto Social – Consecuencia de los Gases contaminantes.....	37
2.4.1 Perdidas económicas en la Agricultura	38
2.4.1 Perdidas económicas en la Ganadería.....	38
2.4.1 Perdidas económicas en Infraestructura.....	39
2.4.1 Perdidas económicas en Salud.....	39
 CAPITULO III: MODELO DEL DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DERIVADA DEL PARQUE AUTOMOTOR	
3.1 Tratamiento de los Datos Estadísticos.....	41
3.2 Análisis de consistencia.....	42
3.3 Tipo de errores.....	43
3.4 Categorización del Problema.....	44
3.4.1 Series Simples.....	46
3.4.1.1 Caso de Independencia - Tiempo de Cambio Conocido.....	46
3.4.1.2 Caso de Independencia - Tiempo de Cambio No Conocido.....	47
3.4.1.3 Caso de Dependencia - Análisis de Intervención.....	49
3.4.2 Series Múltiples.....	49
3.5 Análisis de Saltos.....	50
3.5.1 Procedimiento de Análisis.....	51
3.5.2 Identificación del Salto	51
3.5.2.1 Información de Campo.....	53
3.5.2.2 Análisis de los Datos Estadísticos.....	53
3.5.2.3 Análisis de Doble Masa.....	54
3.5.3 Evaluación y Cuantificación.....	57
3.5.3.1 Consistencia en la Media.....	57
3.5.3.2 Consistencia en la Desviación Standart.....	60
3.6 Corrección de los Datos.....	61

3.6.1 Procedimiento.....	61
3.6.2 Bondad de la Información Corregida.....	61
3.6.3 Limitaciones de las Pruebas Estadísticas.....	62
3.6.4 Mejoramiento de las Pruebas.....	62
3.7. Análisis de Tendencias	63
3.7.1 Propiedades.....	63
3.7.2 Procedimiento de Análisis.....	64
3.8 Tendencia en la Media.....	66
3.8.1 Estimación.....	66
3.8.2 Evaluación.....	67
3.8.3 Eliminación de la Tendencia en la Media.....	68
3.8.4 Tendencia en la Desviación Estandart.....	69
3.8.4.1 Estimación y Evaluación.....	69
3.8.4.2 Eliminación de la Tendencia en la Desviación Estandart.....	70
3.7 Complementación y Extensión de Datos Estadísticos.....	72
3.7.1 Tipos de Correlación.....	74
3.7.2 Procedimiento.....	76
3.7.3 Análisis de Correlación y Regresión.....	78
3.7.3.1 Definiciones.....	78
3.7.3.2 Variables Correlacionados.....	78
3.7.3.3 Correlación Spuria.....	79
3.7.3.4 Ecuación de Regresión Lineal Simple.....	81
3.7.3.5 Ecuación de Regresión Lineal Múltiple.....	84
3.7.4 Análisis de Autocorrelación.....	87
3.7.5 Proceso de Completación de Datos R.L.S.....	89
3.7.5.1 Completación de Datos Anuales.....	90
3.7.5.2 Completación de Datos No Anuales.....	95

3.8 Proceso de Extensión de Datos.....	97
3.8.1 Regresión Lineal Simple.....	98
3.8.2 Extensión de Información por Regresión Lineal Múltiple.	104

CAPITULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS ESTADÍSTICOS

4.1 Sistema de Monitoreo para la Obtención de Datos Estadísticos	110
4.2 Análisis Estadístico del Aumento Poblacional en la Ciudad de Arequipa.....	110
4.3 Análisis Estadístico Del Aumento Del Parque Automotor.....	111
4.4 Análisis Estadístico de los Fenómenos Atmosféricos.....	113
4.4.1 Análisis de las Precipitaciones Pluviales.....	113
4.4.2 Análisis de las Temperaturas.....	114
4.4.3 Análisis de la Humedad Relativa.....	116
4.4.4 Análisis de la Velocidad de los Vientos	117
4.5 Análisis Estadístico de los Gases Contaminantes en la Atmosfera de la Ciudad de Arequipa	123
4.5.1 Análisis de los Datos Estadístico del Monóxido de Carbono.....	123
4.5.2 Análisis de los Datos Estadístico del Dióxido de Azufre	125
4.5.3 Análisis de los Datos Estadístico del Dióxido de Nitrógeno.....	128
4.5.4 Análisis de los Datos Estadístico de Material Particulado Respirable PM10...131	
4.5.5 Análisis de los Datos Estadístico de Material Particulado respirable PM2.5...135	
4.5.5 Análisis de los Datos Estadístico de Partículas en Suspensión PTS	139

CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de las Pérdidas Generadas por Contaminación Atmosférica	143
5.2 Análisis de las Pérdidas Generadas por Contaminación Atmosférica por Gases Emitidos por MCI en la Agricultura	143
5.3 Análisis de las Pérdidas Generadas por Contaminación Atmosférica por Gases Emitidos por MCI en Ganadería.....	146
5.4 Análisis de las pérdidas generadas por contaminación atmosférica por gases Emitidos por MCI en Infraestructura.....	147
5.5 Análisis de las Pérdidas Generadas por Contaminación Atmosférica por Gases Emitidos por MCI en Salud	149
5.6 Análisis de las pérdidas totales generadas por contaminación atmosférica por gases emitidos por MCI	151

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Valores de Límites Máximos Permisibles	32
Tabla 3.1 Criterios para mejorar los Estimados de los Parámetros por Regresión Lineal.....	102
Tabla 3.2 Valores Críticos mínimos de r para mejorar el estimado de la media.....	103
Tabla 4.1 Evolución de la Población arequipeña a través de los censos.....	111
Tabla 4.2 Crecimiento del Parque Automotor en la ciudad de Arequipa	112
Tabla 4.3 Precipitación Pluvial anual Promedio.....	114
Tabla 4.4 Temperatura Promedio Máxima y Mínima.....	116
Tabla 4.5 Humedad Relativa Promedio.....	117
Tabla 4.6 Velocidades Promedio de los Vientos en la Ciudad de Arequipa.....	119
Tabla 4.7 Concentración de Monóxido de Carbono en la Ciudad de Arequipa.....	124
Tabla 4.8 Concentración de Dióxido de Azufre en la Ciudad de Arequipa.....	127
Tabla 4.9 Concentración de Dióxido de Nitrógeno en la Ciudad de Arequipa.....	130
Tabla 4.10 Concentración de PM 10 en la Ciudad de Arequipa.....	133
Tabla 4.11 Concentración de PM 2.5 en la Ciudad de Arequipa.....	137
Tabla 4.12 Concentración de PTS en la Ciudad de Arequipa.....	141
Tabla 5.1 Perdidas de Terrenos Agrícolas.....	144
Tabla 5.2 Perdidas en Ganadería.....	146
Tabla 5.3 Perdidas por mantenimiento de Infraestructura.....	148
Tabla 5.4 Perdidas por Salud.....	150
Tabla 5.5 Perdidas Económicas Totales en la ciudad de Arequipa.....	152

INDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N° 4.1 Proyeccion del aumento Poblacional en la ciudad de Arequipa	111
Gráfico N° 4.2 Proyeccion del modelo Probabilístico al año 2025 Crecimiento Anual del Parque Automotor en la ciudad de Arequipa.....	112
Gráfico N° 4.3 Precipitación Pluvial Anual Promedio.....	114
Gráfico N° 4.4 Temperatura Promedio Máxima y Mínima.....	116
Gráfico N° 4.5 Humedad Relativa Promedio.....	117
Gráfico N° 4.6 Velocidades Promedio de los Vientos en la Ciudad de Arequipa.....	119
Gráfico N° 4.7 Concentración de Monóxido de Carbono (CO) Promedio Mensual.....	124
Gráfico N° 4.8 Proyección de Concentración de Monóxido de Carbono (CO).....	125
Gráfico N° 4.9 Concentración de Dióxido de Azufre (SO ₂) Promedio Mensual.....	127
Gráfico N° 4.10 Proyección Concentración de Dióxido de Azufre (SO ₂).....	128
Gráfico N° 4.11 Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) Promedio Mensual.....	129
Gráfico N° 4.12 Proyección Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	131
Gráfico N° 4.13 Concentración de Material Particulado Respirable PM ₁₀ Promedio Mensual.....	132
Gráfico N° 4.14 Proyección de Concentración de Material Particulado Respirable PM ₁₀	134
Gráfico N° 4.15 Concentración de Material Particulado Respirable PM _{2.5} Promedio Mensual.....	136
Gráfico N° 4.16 Proyección de Concentración de Material Particulado Respirable PM _{2.5}	138
Gráfico N° 4.17 Concentración de Partículas Totales en Suspensión PTS Promedio Mensual.....	140
Gráfico N° 4.18 Proyección Concentración de Partículas Totales en Suspensión PTS.....	142
Gráfico N° 5.1 Perdidas en terrenos Agrícola en Dólares.....	145
Gráfico N° 5.2 Perdidas en Ganadería en Dólares.....	147
Gráfico N° 5.3 Perdidas en Mantenimiento por Infraestructura.....	149
Gráfico N° 5.4 Perdidas por Tratamiento en Salud en Dólares.....	151
Gráfico N° 5.5 Pérdidas Generadas por la Contaminación de Motores de Combustión interna en la ciudad de Arequipa en Dólares.....	153

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 2.1 Contaminación del Parque Automotor por Tugurización.....	10
Figura N° 2.2 Gases Contaminantes emitidos por los Motores de Combustión Interna (MCI).....	22
Figura N° 3.1 Esquema General para la Detección de Cambios en los Datos Evaluación de Contaminantes Atmosféricos.....	45
Figura N° 3.2 Esquema Simplificado para el Análisis de Saltos en Datos Estadísticos de Contaminantes Atmosféricos.....	52
Figura N° 3.3 Serie Estadística con una Componente Transitoria en la Forma de Tendencia.....	64
Figura N° 3.4 Esquema Simplificado para el Análisis de Tendencias en datos Estadísticos.....	65
Figura N° 3.5 Eliminación Grafica de la Tendencia en la Media y Desviación Standart de la Serie $X_{p,T}$	72
Figura N° 3.6 Tipos de Correlaciones Existentes entre dos Series de Datos.....	74
Figura N° 3.7 Esquema General para la Completación y/o Extensión de Datos Estadísticos.....	77
Figura N° 3.8 Ejemplo de Correlación Spuria.....	80
Figura N° 3.9 Diferencia entre los Datos de una Serie Anual y una no Anual – Separación de sus componentes.....	91
Figura N° 3.10 Estandarización de los Registros Periódicos X e Y Para la realización de la Correlación.....	95
Figura N° 4.1 Efectos los vientos en la Contaminación Atmosférica en el clima Urbano de la Ciudad de Arequipa.....	118
Figura N° 4.2 Comportamiento de los Vientos en la Ciudad de Arequipa Relacionados con la Contaminación.....	120
Figura N° 4.3 Características de los Vientos Superficiales de Arequipa Dirección de los Vientos.....	121
Figura N° 4.4 Características de los Vientos Superficiales de Arequipa Circulación de los Vientos.....	122

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación, es determinar las pérdidas económicas debidos a los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa

La presente investigación se enmarca dentro de un tipo de investigación explicativa, que establece la relación causal entre los gases contaminante emitidos por los motores de combustión interna y las pérdidas económicas generadas en el sector salud, agricultura, ganadería e infraestructura

El resultado nos lleva a la conclusión que las pérdidas económicas superan los 143'829,920 dólares en promedio anual, lo que permite afirmar que es una relación negativa para la economía de las personas que se desarrollan en el ámbito comercial de la ciudad, es decir que existe una relación causal de manera proporcional entre las variables, asumiendo el cumplimiento de la hipótesis.

Palabras clave: Gases Contaminantes emitidos por motores de combustión interna - Perdidas Económicas

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the economic losses due to the pollutant gases emitted by the internal-combustion engines of the vehicle fleet in the Arequipa city.

This research is part of a type of explicative research, which establishes the causal relationship between the pollutant gases emitted by internal-combustion engines and economic losses generated in the health sector, agriculture, livestock and infrastructure

The result leads us to conclude that the economic losses exceed 143'829,920 dollars in annual average, what allows to affirm that it is a negative relation for the economy of the people who develop in the commercial scope of the city, that is to say that there is a causal relationship proportionally between the variables, assuming the accomplishment of the hypothesis.

Keywords: Pollutant Gases emitted by internal combustion engines - Economic Losses

INTRODUCCION

Arequipa está perdiendo su paisaje y con ello su identidad, exponiéndose a peligros, debido al aumento del parque automotor y la contaminación ambiental por emisión de gases tóxicos de los motores de combustión interna, esto ha conllevado a la desaparición de la campiña a cambio de cemento, provocando que los efectos del cambio climático sean más dañinos para la salud de los arequipeños, considerando además que es un derecho constitucional vivir en un ambiente sano y saludable. Debido a esto es que tenemos la presencia de sustancias no deseables en la atmosfera arequipeña y estas generan la contaminación concentrándose en un tiempo y espacio, afectando la salud y el bienestar de las personas.

De acuerdo a los informes emitidos por la Gerencia Regional de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, quien realiza año a año el monitoreo del aire de la Ciudad de Arequipa – Área Metropolitana, se puede comparar los diferentes tipos de gases contaminantes, material particulado en la atmosfera.

La ciudad de Arequipa en estos últimos años se ha considerado como una de las ciudades más contaminadas en América Latina, conjuntamente con las ciudades Lima, de Sao Pablo, México y Santiago de Chile.

Los principales contaminantes atmosféricos en la ciudad de Arequipa son:

Las partículas en suspensión o material particulado que consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas en el aire. Se clasifican en PM 10 y PM 2.5 en función de su diámetro aerodinámico.

El dióxido de azufre, es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante resultado de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diésel, carbón, etc.).

El dióxido de nitrógeno, es un gas sin olor, color ni sabor, que constituye el 78% del aire. Aunque en condiciones normales no es perjudicial para la salud, se puede combinar con oxígeno para formar diversos óxidos de nitrógeno.

Arequipa es una ciudad en progreso y desarrollo que presentan problemas sociales y de contaminación, entre los que destacan la pobreza, la sobrepoblación, la escasez de servicios básicos, el transporte, la turgurización vehicular, la contaminación ambiental, y las condiciones de higiene y salubridad, etc. Estos problemas se encuentran ligados unos de otros y deben ser analizados desde una perspectiva integral, obteniéndose recomendaciones complementarias, especialmente en educación y respecto a

disposiciones de las entidades de control, con el propósito de elevar la calidad de vida de la población

La contaminación tiene una relación estrecha con la calidad de vida de la población por lo que se considera necesario el estudio de los principales factores de contaminación.

En el presente estudio se determinan las pérdidas generadas por los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa, para ello se deberá identificar los agentes contaminantes del aire en la ciudad que influyen en la calidad de aire en la zona Arequipa Metrópoli, mediante el análisis de los datos estadístico de los principales contaminantes para un periodo de 15 años (2010 – 2025).

Contrastar cuadros de concentración de gases contaminantes de las principales avenidas y calles de la ciudad de Arequipa generados por los motores de combustión interna del parque automotor e identificar las consecuencias que originan la contaminación por motores de combustión interna en la salud de la población así como la relación con los diferentes factores de la población con una proyección del 2010 al 2025 en condiciones reales, mediante un modelo dinámico, teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento de la población, aumento de los gases y partículas contaminantes, aumento de enfermedades y muertes. Este modelo dinámico permite simular situaciones futuras mediante cambios en sus condiciones.

Se describirá brevemente el contenido de los capítulos que integran este estudio:

En el Capítulo I se expone una revisión de los aspectos generales como el contexto del problema y su relevancia, la definición del problema, su justificación, delimitaciones del trabajo, objetivos, hipótesis y variables

En el Capítulos II se expone el análisis del impacto ambiental por motores de combustión interna, gases contaminantes en el aire, composición de las emisiones toxicas producidos por los vehículos motorizados, Leyes y Normas aplicadas en el estado peruano, condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa y las pérdidas económicas

En el Capítulo III se analiza el modelo del diagnóstico de la contaminación derivada del parque automotor en la ciudad de Arequipa, en este capítulo se ve el tratamiento de los datos estadísticos, el análisis de consistencia, tipos de errores, la categorización del problema, caso de independencia, caso de dependencia, series múltiples, análisis de saltos, información de campo, análisis de los datos estadísticos, evaluación y cuantificación, corrección de los datos, análisis de tendencias, proceso de extensión de datos.

En el Capítulo IV, se realiza el procesamiento de datos estadísticos del aumento poblacional, aumento del parque automotor, análisis estadístico de los fenómenos estadísticos, análisis estadístico de los gases contaminantes en la atmosfera en la ciudad de Arequipa.

En el Capítulo V se describe el análisis de resultados obtenidos y proyectados hasta el año 2025, mediante cuadros estadísticos, como es el análisis de las pérdidas generadas por contaminación atmosférica por gases emitidos por motores de combustión interna en la agricultura, ganadería, infraestructura y salud.

Por ultimo en el Capítulo VI, se muestra las conclusiones del estudio respecto a las pérdidas generadas por contaminación de los gases emitidos por los motores de combustión interna en la ciudad de Arequipa.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA Y SU RELEVANCIA

En las cuatro últimas décadas, se ha visto como la contaminación ha aumentado en la ciudad de Arequipa, básicamente por el aumento del parque automotor y el desorden generado por la turgurización vehicular debido a la falta de señalización, la falta de paraderos, mala ubicación de semáforos.

Los gases emitidos por los motores de combustión interna de los vehículos del parque automotor son altamente tóxicos y dañinos ya que estos superan los límites permitidos, esto debidos a que nos encontramos a una altura de 2300 metros sobre el nivel del mar y también se deberá tener en cuenta la configuración geográfica en donde se encuentra ubicada la ciudad de Arequipa que también contribuye a una fácil contaminación ya que Arequipa geográficamente se encuentra en un plato hundido y esto genera la concentración de nubes toxicas contaminantes

El problema de la investigación es analizar las pérdidas generadas por los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en salud, infraestructura (edificaciones), agricultura y ganadería. Dicho análisis ayudará a evaluar económicamente cuanto se deberá invertir en salud, en infraestructura (edificaciones), en agricultura y en ganadería con respecto a una ciudad medianamente contaminada (una contaminación baja) comparado con una ciudad altamente contaminada por el parque automotor.

El análisis del problema surge de la inquietud de diferentes sectores de la población por hacer un diagnóstico de la situación actual respecto a la contaminación del aire por el parque automotor, como una de las fuentes de contaminación y la poca participación de las autoridades de la ciudad.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación Ambiental por años viene siendo un factor determinante en la salud de las personas, producción agrícola, producción ganadera e infraestructura en la ciudad de Arequipa; a consecuencia de los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor, ello se ha incrementado enormemente debido a una falta de atención por parte de las autoridades y concientización por parte de los pobladores de la ciudad de Arequipa.

El aumento poblacional en estas última décadas crea más demanda de vehículos de transporte público y privado, por lo que proporcionalmente aumenta la contaminación del aire, por los gases emitidos por los motores de combustión interna, sumándole a este la mala calidad de combustible fósil con la que contamos.

Además, la ubicación geográfica de la ciudad de Arequipa contribuye al aumento de la contaminación por concentración de gases, ya que su topografía y condiciones meteorológicas, hacen que los gases contaminantes se concentren en la ciudad debido a que geográficamente se presenta como un plato hundido, rodeado por el batolito de Cerro Verde, el Volcán Pichu Pichu, Volcán Misti y el Volcán Chachani

De acuerdo a lo mencionado líneas arriba no se ha tomado en cuenta la cuantificación de las pérdidas económicas, generadas por la contaminación de los gases emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor de la ciudad de Arequipa, dichas pérdidas tienen una gran incidencia en la salud de la población por lo que indirectamente se genera un presupuesto adicional en el poblador arequipeño.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL:

La ciudad de Arequipa está expuesta a una contaminación del aire tal que esta supera los límites máximos permisibles y estándares de calidad ambiental establecidos por la Organización Mundial del Medio Ambiente y por el Ministerio del ambiente del Perú, esto genera serios impactos ambientales relacionados con la salud de la población, la agricultura, la ganadería y la infraestructura de las edificaciones de la ciudad de Arequipa. La contaminación del aire en la ciudad de Arequipa se genera básicamente por el parque automotor que genera grandes concentraciones de gases tóxicos y partículas en suspensión formando una nube fotoquímica que cubre a la ciudad que se puede apreciar desde cualquier parte alta.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL:

El parque automotor de la ciudad de Arequipa desde 1992 ha crecido en forma desordenada, debido al ingreso de vehículos de segundo uso y la falta de proyección en el desarrollo de la ciudad concentrando su movimiento económico en el centro histórico de la ciudad, situación que genera una

tugurizarían de personas y vehículos automotores en calles y callejones, lo que genera emisiones de gases tóxicos y material particulado dañino para la personas, contaminado el aire, afectando la salud de la población, la agricultura, la ganadería y la infraestructura de las edificaciones (Edificaciones consideradas reliquias por su construcción en sillares).

En nuestra ciudad se agrava el problema de la contaminación del aire por estar situada dentro de un valle rodeado por montañas y volcanes (forma de plato hondo), que impide la dispersión horizontal de los agentes contaminantes, concentrándose estos en la atmósfera de la ciudad.

1.3.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA:

La contaminación del aire debido al parque automotor juega un papel importante en la economía de la población arequipeña, generando grandes cambios con respecto a la salud, agricultura, ganadería e infraestructura.

En salud es sabido que, en los años 80, Arequipa era el lugar preferido para las personas que sufrían asma estando radicando en la costa, por ser un clima seco, pero en estos últimos años se tiene datos de personas con asma, esto debido al material particulado en el aire, además del aumento de los problemas respiratorios, conjuntivitis, estrés.

En la agricultura se tiene información que gran parte de la campiña arequipeña se ha convertido en grades urbanizaciones generando la disminución de áreas verdes y por ende la disminución de la ganadería.

En infraestructura las pérdidas son más notables en lo que respecta el centro histórico, ya que el desarrollo de la ciudad hasta antes de los años 90 se enraizaba en el sillar como elemento histórico del cual toma el nombre de Arequipa ciudad Blanca.

1.3.4 JUSTIFICACIÓN LEGAL:

Según la Ley General de Salud N° 26842 nos indica que la salud es condición indispensable del desarrollo humano y medio fundamental para alcanzar el bienestar individual y colectivo. La protección de la salud es de interés público. Por tanto, es responsabilidad del Estado regularla, vigilarla y promoverla. Toda persona tiene derecho a la protección de su salud en los términos y

condiciones que establece la ley. El derecho a la protección de la salud es irrenunciable. El concebido es sujeto de derecho en el campo de la salud. La salud pública es responsabilidad primaria del Estado.

La Ley General del Ambiente Nº 28611

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

Artículo IV.- Del derecho de acceso a la justicia ambiental

Toda persona tiene el derecho a una acción rápida, sencilla y efectiva, ante las entidades administrativas y jurisdiccionales, en defensa del ambiente y de sus componentes, velando por la debida protección de la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, así como la conservación del patrimonio cultural vinculado a aquellos. Se puede interponer acciones legales aun en los casos en que no se afecte el interés económico del accionante. El interés moral legitima la acción aun cuando no se refiera directamente al accionante o a su familia.

Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire D.S. 074-2001-PCM

Que, siendo los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación del aire sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible, Que, de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, Decreto Supremo N° 044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual

1999, para Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental “Estándares de Calidad del Aire” - GESTA AIRE, con la participación de 20 instituciones públicas y privadas que ha cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire bajo la coordinación del Consejo Nacional del Ambiente

Estándares modificados de Calidad de Aire D.S. 003-2008-MINAM

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país; Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, estableciendo el literal d) de su artículo 7 como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiéndose aprobar mediante Decreto Supremo.

1.4 DELIMITACIÓN DE LAS PARTES DEL TRABAJO

El presente trabajo de investigación se basará exclusivamente en las consecuencias que produce la contaminación ambiental en la ciudad de Arequipa por los gases tóxicos emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor de la ciudad de Arequipa; enfocándonos dentro de un aspecto social, ético y jurídico.

Básicamente el trabajo se delimitará dentro del análisis de las principales vías de la ciudad de Arequipa, como son la Avenida Goyeneche, Avenida

Independencia y la calle Bolívar, los que se tomaran como muestra para el trabajo de investigación.

1.5 OBJETIVO GENERAL

Determinar las pérdidas económicas debidos a los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar los agentes contaminantes del aire en la ciudad de Arequipa.
- b) Distinguir los tipos de gases y partículas contaminantes para el ser humano emitidos por los motores de combustión interna en la ciudad de Arequipa.
- c) Establecer los cuadros de concentración de gases contaminantes de las principales avenidas y calles de la ciudad de Arequipa generados por los motores de combustión interna del parque automotor.
- d) Reconocer las consecuencias que origina la contaminación del aire por los motores de combustión interna en la población en la ciudad de Arequipa.

1.7 HIPÓTESIS GENERAL

Los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa, generan pérdidas económicas en el sector salud, agricultura, ganadería e infraestructura.

1.8 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) Los agentes contaminantes del aire en la ciudad de Arequipa son emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor.
- b) Los gases y partículas contaminantes emitidas por los motores de combustión interna afectan a la salud de la población de la ciudad de Arequipa.
- c) El aumento de los gases contaminantes en el aire, afecta a la producción agrícola y ganadera en la ciudad de Arequipa.
- d) La contaminación atmosférica, debido a la emisión de gases toxico de los motores de combustión interna generan pérdidas en la infraestructura de las viviendas y comercio.

e) El aumento de población genera el aumento del parque automotor y estos a su vez generan mayor concentración de gases contaminantes de las principales avenidas y calles de la ciudad de Arequipa.

1.9 VARIABLES

Variable independiente:

Gases Contaminantes emitidos por motores de combustión interna.

Variable dependiente:

Perdidas Económicas.

CAPITULO II

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

2.1 LOS GASES CONTAMINANTES EN EL AIRE

El aire es el elemento básico de todo ser vivo. Diariamente nuestros pulmones filtran unos 1.70 kilos de aire atmosférico, mientras que sólo absorbemos 25 kilos de agua y menos de 1.5 kilos de alimentos.

El aire está compuesto por una mezcla de gases que constituye la atmósfera: nitrógeno, oxígeno, argón, anhídrido carbónico; además contiene vapor de agua y gases raros menores, como el helio, criptón, radón, xenón y ozono.

La Contaminación Atmosférica es un fenómeno natural o provocado, intencionalmente o no, que incide en la composición normal físico-química y biológica de la atmósfera haciéndola hostil a las actividades humanas, en sus múltiples facetas y a la vida misma (Organización Mundial de la Salud,2014).

Los contaminantes de la atmósfera pueden ser:

- **Químicos:** constituidos por sustancias de diverso estado físico, se originan en los múltiples procesos de transformación de la materia. Pueden estar en estado gaseoso o particulado.
- **Físicos:** Son formas de energía muy difundidos en las variadas actividades de la sociedad contemporánea. Ejemplo: el ruido.
- **Biológicos:** Constituidos por los organismos vivientes que arriban a la atmósfera en formas muy diversas como el polen y esporas, mohos, hongos, virus, etc.

Las fuentes de contaminación atmosférica son:

- Las Industrias minero-metalúrgicas, que incluyen las fábricas de cemento y centros mineros.
- Parque automotor
- Fábricas.
- Industria alimentaria.

- Industria química.
- Las malas costumbres de la Población (quema de basuras y desmonte).

Las consecuencias de la contaminación atmosférica son a largo plazo y difíciles de determinar, sin embargo, estudios de probabilidad permiten señalar que determinados agentes son factores de riesgo ambiental y de enfermedad. Entre las enfermedades que producen los contaminantes químicos se encuentran el cáncer a la piel, las “cataratas” de los ojos, la arterioesclerosis, la alteración de la inmunidad y el menoscabo de la inteligencia a causa de la exposición al plomo.

Debemos resaltar que en nuestro país no se han establecido hasta la fecha los límites permisibles de Contaminación Atmosférica, utilizándose para los estudios, los parámetros internacionales. Sin embargo, existe un proyecto de Patrones Nacionales de Calidad del Aire, aprobado por diferentes entes del sector público y privado, pero que lamentablemente no se materializa en un dispositivo legal que lo apruebe.

2.1.1 COMPONENTES DE LOS GASES TOXICOS EMITIDOS POR VEHICULOS MOTORIZADOS

Las emisiones tóxicas se clasifican en reglamentadas y no reglamentadas. Su acción sobre el organismo humano es diferente: desde sensaciones desagradables hasta enfermedades graves, incluyendo el cáncer, en concentraciones considerables pueden tener efecto (Da Costa, 2010:10).

Las emisiones tóxicas se refieren a: CO, CxHy, NOx, el humeado (humo) y el hollín, así como partículas sólidas (PS).



FIGURA N° 2.1. Contaminación del Parque Automotor por Tugurización
FUENTE: Ilustraciones y caricaturas de Cristian Hernández.

2.1.1.1 EL MONOXIDO DE CARBONO (CO)

Es un gas incoloro, inodoro, un poco más ligero que el aire y prácticamente insoluble en agua. Es producto de la combustión incompleta del combustible. Se forma como consecuencia de la mala pulverización del combustible, de la reacción de llama fría, así como la disociación del dióxido de carbono a altas temperaturas, cuando se quema en atmósfera de oxígeno, continúa oxidándose hasta formar el dióxido de carbono; a veces, el proceso de combustión del CO prosigue en el conducto de escape. Durante el funcionamiento de los motores diésel, la concentración del CO en los gases de escape no es significativa (aproximadamente 0.1 - 0.2 %); por lo tanto, sólo se toma en consideración la concentración del CO para los motores de carburador.

La acción del CO sobre el organismo humano se manifiesta en las perturbaciones funcionales del sistema nervioso central, dolores de cabeza, enflaquecimiento, sensaciones dolorosas en el corazón, náuseas y vómitos; consecuencias de la sub alimentación de oxígeno.

Esto ocurre porque el CO altera la composición de la sangre, reduce la formación hemoglobina, entrando en reacción con ésta, y perturba el proceso de oxigenación del organismo (la absorción de CO en la sangre es 240 veces más que la del oxígeno).

Con concentraciones de CO en el aire superiores a 0.01 % y 0.02% (por volumen) se observan síntomas de intoxicación y cuando llega a ser entre 0.2 % y 0.25 %, viene el desmayo en unos 25 a 30 minutos. El límite máximo de concentración de CO en el aire es de 1 mg/m³, Salazar (2015:6).

2.1.1.2 LOS OXIDOS DE NITROGENO (NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₅....NO_x)

Representan los componentes más tóxicos de los gases de escape. En condiciones atmosféricas normales el nitrógeno es un gas bastante inerte, pero con presiones y sobre todo, temperaturas elevadas, entra activamente en reacción con el oxígeno. En los gases de escape de los motores, el óxido de nitrógeno (NO) constituye más del 90 % de toda la gama de los NO_x, oxidándose fácilmente hasta el NO₂ en el sistema de escape, y después en la atmósfera.

Los óxidos de nitrógeno irritan las mucosas de los ojos y de la nariz, destruyen los pulmones; pasando por las vías respiratorias, entran en reacción con la humedad de estas, formando los ácidos nítrico y nitroso. Por lo general, los síntomas de intoxicación con los NO_x no se manifiestan inmediatamente, sino paulatinamente y no hay medios eficaces que puedan neutralizarlos. El dióxido de nitrógeno (N₂O) tiene acción narcótica.

Se considera que los óxidos de nitrógeno son 10 veces más peligrosos para el organismo humano que el monóxido de carbono.

El contenido límite de óxidos de nitrógeno en el aire se estima en 0.1 mg / m³.

Los óxidos de nitrógeno son destructivos para las hojas de las plantas. Esta acción devastadora se revela con concentraciones en el aire de 0.5 - 0.6 mg / m³. Conviene observar que el ácido nítrico es un agente fuerte que ocasiona corrosión en los aceros.

La cantidad de emisión de óxidos nitrosos depende en gran medida de la temperatura de los gases en la cámara de combustión. Así elevando la

temperatura de 2 500 a 2 700 °K, la velocidad de reacción aumenta 2.6 veces; bajándola de 2 500 a 2 300 °K, la velocidad disminuye en 8 veces, quiere decir que: cuanto mayor es la temperatura, tanto más alta es la concentración de los NOx. Por ejemplo, la inyección hecha anticipadamente o, una gran compresión, favorecen a la formación de los NOx. Cuando mayor es la concentración de oxígeno, tanto más elevada es la concentración de los óxidos de nitrógenos, Salazar (2015:6).

2.1.1.3 LOS HIDROCARBUROS (CxHy)

Denominados en adelante CxHy y formados por: etano, metano, etileno, bencol, propano, acetileno y otros, son igualmente sustancias tóxicas. Los gases de escape contienen más de 200 hidrocarburos diferentes que se dividen en alifáticos (con cadenas abiertas o cerradas) y aromáticos, que contienen un anillo de bencol. La presencia de CxHy en los gases de escape de los motores diesel se explica por el hecho de que la mezcla en la cámara de combustión es heterogénea y por consiguiente, la llama se apaga en zonas demasiado enriquecidas, por ejemplo, junto a las paredes del cilindro.

Los hidrocarburos, resultados de la combustión incompleta, emitidos con los gases de escape, representan la mezcla de unas cuantas centenas de compuestos químicos, y tienen olor desagradable. Las emisiones de CxHy causan muchas enfermedades crónicas.

Son igualmente tóxicos los vapores de gasolina, por su naturaleza, hidrocarburos. La concentración diaria admisible de vapores de gasolina es de 1.5 mg / m³.

La proporción de hidrocarburos en los gases de escape aumenta con la estrangulación en la admisión, o cuando el motor funciona en vacío (por ejemplo, durante el frenado). En estos casos empeora la turbulencia de la carga, disminuye la velocidad de la combustión, se dificulta la inflamación, y, por lo tanto, se observan mayores emisiones de hidrocarburos.

Los CxHy se forman debido a la combustión incompleta que se producen junto a las paredes frías de la cámara de combustión, donde hay zonas con escaso suministro de aire durante todo el proceso de la combustión, se forman también por una deficiente pulverización del combustible, por la imperfecta

turbulencia del aire y por las bajas temperaturas (por ejemplo, durante la marcha en vacío).

Los CxHy son agentes que favorecen la formación de sustancias biológicamente activas, que provocan irritación y posterior enfermedad de ojos, garganta, nariz y son muy perjudiciales para la flora y fauna; pueden ocasionar también enfermedades crónicas. Algunos hidrocarburos aromáticos poseen propiedades tóxicas.

Con determinadas condiciones meteorológicas, ciertos hidrocarburos (olefinas) y óxidos nitrosos contribuyen activamente a la formación del "smog" Salazar (2015:7).

2.1.1.4 EL SOMG ("smoke " - humo, " fog " niebla)

Representa una niebla venenosa que se forma en las capas inferiores de la atmósfera, es un aerosol que se compone de humo, polvo, hollín y pequeñas gotas de agua (cuando se trata de atmósfera húmeda). Este fenómeno es característico de las urbes industriales. Es el resultado de procesos foto químicos catalizados por la radiación solar ultravioleta, aquí se verifica la disociación de las moléculas de NO₂ en las de NO, ozono y peróxidos. Estos productos entran en contacto con las olefinas, produciendo compuestos de peróxido nítrico.

Cuando su concentración llega a más de 0,2 mg / m³, se observa la condensación del vapor, bajo la forma de niebla y con propiedades tóxicas. Cuando calor seco, el smog se presenta como una bruma amarillenta.

Son famosos los " smogs" de Londres, Los Ángeles, Nueva York y otras ciudades industriales grandes. En algunas, por ejemplo, en Tokio, los habitantes se ven obligados a utilizar, a veces, máscaras con un dispositivo automático que dosifica la porción necesaria de oxígeno puro, Salazar (2015:7).

2.1.1.5 EL HUMO

Es la modalidad no transparente de los gases de escape debido a la presencia del hollín, de partículas sólidas suspendidas, de vapor, de gotas minúsculas de combustible, de aceite y de otros aerosoles; el humeado se percibe

visualmente. El humo puede tener diferentes graduaciones de color, dependiendo de la composición de los gases de escape. se distinguen humo blanco, azul y negro, Salazar (2015:7).

EL HUMO BLANCO Y AZUL, es el mismo combustible bajo la forma de gotas, mezclado con una cantidad diminuta de vapor, es producto de la combustión incompleta y la condensación posterior.

El humo blanco se produce cuando el motor se pone en marcha en frío, en el arranque, presentándose bajo la forma de una nubecilla blanca expelida desde el tubo de escape. Desaparece rápidamente a medida que el motor se calienta (incrementa sus revoluciones y entra en operación). El humo blanco difiere del azul por la dimensión de gotas, es decir, si el diámetro de las esferillas es superior a la longitud de onda del azul, el ojo percibe las gotitas como blancas. Las partículas menores se presentan en su conjunto como azules. En dependencia de su densidad, el humo blanco y azul, visto a la luz del sol, varía su coloración del gris al castaño. El color azul es apenas una función de la dimensión de gotas.

Sin embargo, es necesario subrayar que el aceite lubricante es responsable también del humo azul (por ejemplo, una nubecilla azul que deja el coche que consume un exceso de lubricantes, o de aceite y combustibles en el caso del motor de dos tiempos). Algunas veces, a este humo se le llama " humo de aceite".

Las partículas de humo negro que se presentan a simple vista como partículas enteras (sus dimensiones superan la longitud de onda de la luz visible), no son otra cosa que aglomerados de hollín. Tanto los aglomerados como los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) y las partículas del hollín (humo negro) que no se perciben a simple vista como partículas enteras, producen la opacidad; es decir, la densidad óptica de los gases de escape.

Varios factores determinan la aparición de humo blanco y azul, así como el olor característico en los gases de escape. Entre estos tenemos: Temperatura del motor, método de formación de la mezcla y características del combustible.

La mezcla del humo blanco y azul se compone siempre de gotas de formas diversas, y cuyo diámetro puede variar en una escala bastante amplia; la dimensión de las gotas (por lo tanto, la coloración del humo) depende de la temperatura en que éstas se forman.

Cuando la temperatura de combustión sube, el humo adquiere una tonalidad azul más acentuada, es decir la dimensión de las gotas se desplaza hacia valores menores. Hay que tener en cuenta que, dependiendo del tipo de combustible y de la temperatura, el humo desaparece debido a la combustión completa.

El humo indica siempre que el combustible que llega a la cámara de combustión no encuentra la temperatura suficiente, y no puede quemarse completamente.

Entonces la conclusión es la siguiente: cuanto más baja es la temperatura en la cámara de combustión, y en la tubería de escape (allí una parte del humo se forma por el combustible residual existente) tanto más alta es la emisión del humo.

Esto se nota mayormente antes que el motor se ponga en marcha, cuando una parte del combustible y vapor de agua se condensan y se transforman en una niebla de humo después del arranque.

El humo negro se compone principalmente de hollín y de hidrocarburos poli aromáticos con estructura hexagonal, invisibles a simple vista, pero estructuralmente próximos al negro de grafito, que también tiene una red hexagonal estratiforme; se trata, por lo tanto, del producto de la combustión que se compone de sustancias residuales y resulta del craqueo, des hidrogenación y polimerización.

Las partículas de humo negro tienen dimensiones de 1 micrón y se aglomeran en partículas mayores con dimensiones de 0.01 milímetro y más.

El índice elevado de humeado tiene incidencias negativas sobre el organismo humano, flora, instalaciones y edificaciones; empeora la visibilidad, aumentando así la probabilidad de accidentes de tránsito, Salazar (2015:7).

2.1.1.6 EL HOLLIN

Representa un cuerpo amorfo, sin red cristalina, un producto carbónico sólido en estado de dispersión. En los gases de escape de los motores diesel el hollín es constituido por partículas de forma irregular con dimensiones lineales entre 0.3 y 100 micrones. La mayor parte de las partículas de hollín miden entre 0.4 y 0.5 micrones y las más pequeñas entre 0.015 y 0.17 micrones.

El hollín es producto de la descomposición térmica (pirólisis) de hidrocarburos en estado gaseoso (vapor) con alimentaciones insuficientes o carentes de oxígeno. Varios factores concurren a la formación de hollín: la temperatura y la presión en la cámara de combustión, el tipo de combustible, la proporción entre el combustible y el aire en la mezcla (coeficiente de exceso de aire) y las particularidades estructurales del motor.

La cantidad del hollín depende considerablemente de la temperatura en la zona de combustión. A medida que la temperatura y la presión suben, ésta cantidad aumenta drásticamente.

La formación de hollín depende igualmente de las propiedades del combustible. Cuanto más elevada es la relación C / H en el combustible, tanto más elevada es la emisión del hollín; cuanto mayor es el peso molecular de los hidrocarburos saturados y no saturados con cadenas directas, tanto mayor es la velocidad de formación del hollín. Se pueden clasificar los hidrocarburos según su facilidad para constituir el hollín: parafinas normales, isoparafina, ciclo parafina, olefinas, ciclo olefina, diolefina y aromáticos.

Cuando el combustible se quema completamente, se efectúa, tanto el proceso de formación del hollín, como también el de combustión completa de sus partículas. Esto último se debe a la reacción entre el carbono y los radicales OH y el oxígeno. Si el motor diesel trabaja con mezclas pobres (más pobre de lo que la estequiometría establece: $\lambda > 1$), ocurre la oxidación directa del hollín con el oxígeno. Hay que tener en cuenta que la velocidad del quemado de hollín depende de la dimensión de sus partículas (mejor dicho, de su superficie).

Todo el hollín que se forma se quema por completo, solamente; en el caso de que las dimensiones de las partículas no superen los 100 Å (0.01 micrones).

Se ha comprobado por vía experimental, que una parte considerable de hollín se quema completamente debido a la expansión de los gases en el cilindro, cuando las partículas de hollín tienen acceso al oxígeno, y debido a la difusión y al movimiento de los gases.

Existen otros factores favorables a la formación del hollín, entre ellos: zonas sobrealimentadas de combustible en la cámara de combustión, contacto del combustible con las paredes frías, inadecuada turbulencia de la mezcla; si ésta aumenta, disminuye la cantidad de hollín, porque la combustión se vuelve más completa.

El hollín se sedimenta en las vías respiratorias, dando origen a enfermedades nasofaríngeas y pulmonares crónicas (especialmente las partículas con dimensiones de 0.5 - 2 micrones). Además, el hollín contamina el aire, empeora la visibilidad y, lo que es peor, absorbe sustancias cancerígenas comprendidas en el grupo de hidrocarburos aromáticos policíclicos y el benzopireno C₂₀H₁₂.

La concentración del hollín en los gases de escape de los motores diesel puede alcanzar 0.8 g / m³.

Los componentes tóxicos no normalizados (no sujetos a estandarización) comprenden: partículas, elementos principales (carbono, hidrógeno, nitrógeno), remanentes de metales, compuestos volátiles, sulfatos, dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, cianuros aromáticos poli cíclicos (HAP) y sustancias aromáticas, Salazar (2015:8).

2.1.1.7 LOS ALDEHIDOS (formaldehído y acroleína)

Se forman cuando el combustible se quema a bajas temperaturas, o en mezcla demasiado pobres. Pueden igualmente ser producto de la oxidación de la película de aceite en la camisa del cilindro, o del escape de combustible desde el pulverizador. Al quemarse el combustible a altas temperaturas, los aldehídos desaparecen.

Ejercen acción perjudicial sobre el sistema nervioso y el aparato respiratorio. Así con una concentración de formaldehído de 0.18 % se observa irritación fuerte en las mucosas de la nariz y de los ojos.

El grupo de aldehídos es el que determina el olor característico de los gases de escape Salazar (2015:9).

2.1.1.8 EL DIOXIDO DE AZUFRE SO₂ Y EL ACIDO SULFHIDRICO H₂S

Se forman durante el funcionamiento del motor con combustible que contienen compuestos sulfurados (su presencia es característica en los motores diesel), éstos compuestos ocasionan irritaciones fuertes de los ojos y de los órganos del olfato, pues el SO₂ absorbe la humedad para formar el ácido. Son extremadamente nocivos para las plantas, Salazar (2015:8).

2.1.1.9 EL DIOXIDO DE CARBONO (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro, más pesado que el aire, no tóxico. El porcentaje elevado de CO₂ en la atmósfera produce el latido acelerado del corazón. Actualmente el contenido de este gas en la atmósfera alcanza 350 ppm aumentándose cada año en 0.5 %. La particularidad de CO₂, es que al subir en las capas superiores de la atmósfera absorbe intensivamente la radiación infrarroja reflejada por la superficie terrestre. Este fenómeno conduce al aumento de la temperatura promedio de la tierra, al que se le ha denominado " Efecto Invernadero".

Por eso en muchos países existen los programas especiales que prescriben, utilizando todos los medios posibles para contribuir a la disminución de las emisiones de CO₂, Salazar (2015:9).

2.1.1.10 PARTICULAS SÓLIDAS (PS)

La emisión no normalizada de partículas sólidas con los gases de escape es un factor negativo para el empleo de los motores diesel en los medios de transporte con una adecuada calidad.

Las partículas sólidas incluyen principalmente el hollín (carbono), pero también se pueden referir a cierta clase de partículas minerales del aire (polvo) y del combustible (ceniza), así como las partículas metálicas resultantes del desgaste por fricción.

Según la definición de EPA, se entiende por partícula sólida cualquier sustancia, excepto el agua, que " al mezclarse con el aire, se precipita en el filtro especial para gases de escape a temperaturas inferiores a 51.7 ° C".

La emisión de partículas sólidas con los gases de escape, que producen los motores diesel, sobrepasa en 30 - 70 veces a la de los motores de carburador equipados con neutralizadores. Además, juntamente con otras sustancias contaminadoras, estas partículas ensucian los edificios, producen la corrosión y erosión de los materiales. La suspensión de partículas ligeras constituidas esencialmente por compuestos de carbono, con dimensión media de 0.2 micrones, empeora considerablemente la visibilidad, aumentando el riesgo de accidentes de tránsito.

Los ensayos efectuados con motores diesel vehiculares (con cilindrada del motor de 1.5 - 2.0 lt) según el ciclo de pruebas de 13 etapas y conforme a la metodología FTP, han demostrado que las partículas se componen entre 80 % y 90 % de carbono (hollín) y compuestos orgánicos absorbidos. La parte de hidrógeno constituye entre 2 % y 5 %, nitrógeno ente 0.3 % y 1.0 % y azufre entre 2.2 % y 5.0 %. De los elementos principales que forman parte de las partículas, merece mencionar el hierro (0.7 %) y el plomo (0.45 %) que son productos que ocasionan desgaste y corrosión en las piezas del motor y están presentes en los lubricantes como impurezas microscópicas. La cantidad de la emisión de sulfatos es variable conforme al contenido de azufre en el combustible.

Como muestra el análisis biológico de las partículas, el factor más peligroso es el factor mutante de las sustancias orgánicas y de los hidrocarburos aromáticos policíclicos absorbidos en su superficie. Se sabe que la interacción entre los factores mutante y cancerígeno incrementa el llamado " factor riesgo" del cáncer, Salazar (2015:9).

2.1.1.11 COMPUESTOS DE PLOMO

Aparecen en los gases de escape de los motores de carburador que emplean gasolina estilada (con adiciones de plomo tetra etilo para conseguir un determinado número de octano). Al quemar una tonelada de gasolina estilada, los vehículos emiten a la atmósfera aproximadamente entre 0.50 kg y 0.85 kg de compuestos de plomo. Una parte de estos productos constituyen aerosoles nocivos a la salud, que se forman en base a los aditivos anti detonantes y se desprenden en parte como óxidos, pero fundamentalmente como cloruros y

bromuros de plomo. Estos aerosoles penetran en el organismo con la respiración, por los poros o con la comida, ocasionando la intoxicación de los órganos digestivos, perturbando las funciones del sistema nervioso, muscular y también del cerebro. El plomo, como metal pesado, se evacua mal del organismo, y por eso, puede acumularse hasta concentraciones peligrosas.

Al exceder la norma admisible, los compuestos de plomo se vuelven peligrosos para el ser humano. Expelido con los gases de escape, el plomo puede acumularse en las plantas que, a propósito, son poco susceptible a la acción de sus compuestos, pero pueden crear peligro si son utilizados como forraje para animales o alcanzar algunos productos comestibles (legumbres). La propagación de los compuestos de plomo en la atmósfera depende de donde está ubicada la fuente de emisión en condiciones meteorológicas, el relieve del terreno, el medio ambiente cercano a las carreteras, etc. El contenido de plomo en las plantas que crecen al lado de las carreteras, varía conforme a la distancia de las mismas. En los países de la Comunidad Económica Europea se recomienda tomar por patrón el índice equivalente a 10 mg de Pb por 1 kg de forraje seco, Salazar (2015:10).

2.1.1.12 HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (HAP)

Son altamente activos. Los métodos existentes permiten detectar cerca de 15 HAP en los gases de escape del motor. La mayor parte de los HAP son cancerígenos, variando apenas en grado de toxicidad. El más persistente y perjudicial es el benzopireno (C₂₀H₁₂). En Rusia las normas de concentración admisible máxima (CAM), establecen para esta sustancia un nivel de 0.0001ug/m³ para las poblaciones y en zona de trabajo 0.15 ug/m³.

Los experimentos han demostrado que la acción negativa de un solo benzopireno, sin contar con los otros HAP, es equivalente a la influencia (por escala de toxicidad) de todos los gases de escape y en ciertos casos, hasta es muy superior al C_xH_y, CO, NO_x, y hollín, cuyas dosis tienen límites establecidos.

De acuerdo a las investigaciones efectuadas, en base del criterio del factor cancerígeno, todos los HAP se clasifican en 4 grupos:

Fuertes - benzopireno, dibenzoantraceno, y dibenzopireno.

Medios - benzofluoratenos.

Débiles - criceno y benzoantraceno.

No cancerígenos - pireno, perileno, coroneno, benzoperileno, benziperileno, deibenzantraceno, fluoranteno y benzofluoranteno.

El cancerígeno más fuerte de todos es sin duda, el benzopireno. Merece observar que los HAP no cancerígenos en presencia de otros cancerígenos - CxHy y NOx olefínicos - refuerzan su acción, haciéndolos en ciertos casos más peligrosos que los HAP cancerígenos, ya que contribuyen a la formación de derivados nítricos de los HAP, particularmente agresivos y venenosos.

La emisión de los HAP en cada motor es variable por ejemplo la parte de benzopireno en la emisión total de HAP constituye entre el 2.1 % y 3.3 % para motores de carburador, hasta 3.7 % para motores diesel y no más del 1.1 % para los de turbina de gas. Las temperaturas elevadas, la presión alta en la cámara de combustión, bajos coeficientes de exceso del aire, así como el funcionamiento defectuoso del sistema cerrado de ventilación del cárter favorecen, en su conjunto al incremento de la emisión de los HAP, Salazar (2015:10).

2.1.1.13 OLOR DE LOS GASES DE ESCAPE

Es una de las propiedades negativas de los gases de escape de los motores diesel. El nivel de olor de los gases de escape de un motor diesel depende de la construcción del motor, de su régimen de funcionamiento del tipo de combustible y de otros parámetros.

Los regímenes de funcionamiento del motor caracterizados por altas concentraciones de los óxidos de nitrógeno y por consiguiente con menores emisiones de hidrocarburos tienen menor nivel de olor. El contenido de los hidrocarburos aromáticos es el combustible influye tanto sobre la densidad como sobre la característica cualitativa del olor.

El olor de los gases de escape depende del contenido de los productos de combustión incompleta. En gran medida el olor de los gases de escape está determinado por la presencia de los aldehídos simples tales como acroleína y formaldehído.

La utilización de la cámara de combustión de tipo separado disminuye el nivel de olor en comparación con la cámara no separada. La desconexión de los cilindros también disminuye el olor de los gases de escape (1 - nivel de olor para cámara no separada; 2 - para cámara separada; 3 - desconexión de los cilindros).

La variación de la humedad del aire en la entrada del motor, el suministro del aire en el sistema de escape, diferentes aditivos al combustible, instalación de varios tipos de neutralizadores catalíticos y otros métodos no conducen a la disminución considerable del nivel de olor.

Actualmente en los motores de combustión interna a menudo comienzan a utilizar como combustibles alternativos el gas comprimido o licuado. Estos gases como tales son incoloros y no tienen olor, pero para fines de seguridad les dan el olor particular, añadiendo al gas las sustancias especiales odoríferas que ayudan a detectar hasta las menores fugas de los gases del sistema de alimentación. En calidad de estos aditivos se puede utilizar mercaptano (RHS) y sus compuestos (componentes ligeros del mercaptano: metil y etilmercaptano), Salazar (2015:11).



Figura Nº 2.2 : Gases Contaminantes emitidos por los Motores de Combustión Interna (MCI)

FUENTE: LA contaminación ambiental por Alejandra Eras

2.2 NORMAS

2.2.1 CONSTITUCION POLITICA DEL PERU

Art. 02.- Toda persona tiene derecho

1. A la vida, a su identidad, a su integridad moral, psíquica y física y a su libre desarrollo y bienestar. El concebido es sujeto de derecho en todo cuanto de favorecer.

Art. 67.- El estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

Art. 166º.- La Policía Nacional del Perú tienen por finalidad fundamental garantizar, mantener y restablecer el Orden Interno. Presta protección y ayuda a las personas y a la comunidad. Garantiza el cumplimiento de las leyes y la seguridad del patrimonio público y del privado. Previene, investiga y combate la delincuencia. Vigila y controla las fronteras.

2.2.2 LEY GENERAL DEL AMBIENTE LEY Nº 28611

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

Artículo 117.- Del control de emisiones

117.1 El control de las emisiones se realiza a través de los LMP y demás instrumentos de gestión ambiental establecidos por las autoridades competentes.

117.2 La infracción de los LMP es sancionada de acuerdo con las normas correspondientes a cada autoridad sectorial competente.

Artículo 118.- De la protección de la calidad del aire Las autoridades públicas, en el ejercicio de sus funciones y atribuciones, adoptan medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, a fin de asegurar

la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, según sea el caso, actuando prioritariamente en las zonas en las que se superen los niveles de alerta por la presencia de elementos contaminantes, debiendo aplicarse planes de contingencia para la prevención o mitigación de riesgos y daños sobre la salud y el ambiente.

2.2.3 CODIGO PENAL (DECRETO LEGISLATIVO 635)

Art. 304º.- El que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenta cinco días multa.

Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de un año o prestación de servicio comunitario de diez a treinta jornales.

Art. 305º.- La pena será privativa de libertad no menor de dos ni mayor de cuatro años y trescientos sesenta cinco días a setecientos treinta días multa cuando:

- a. Los actos previstos en el artículo 304º ocasionan peligro para la salud de las personas o para sus bienes.
- b. El perjuicio o alteración ocasionados adquieren un carácter catastrófico.
- c. El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.
- d. Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si, como efecto de la actividad contaminante, se producen lesiones graves o muerte, la pena será:

- a. Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenta cinco a setecientos días multa, en caso de lesiones graves.

b. Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta a mil cuatrocientos sesenta días multa, en caso de muerte.

Art. 306º.- El funcionario público que otorga licencia de funcionamiento para cualquier actividad industrial o el que, a sabiendas, informa favorablemente para su otorgamiento sin observar las exigencias de las Leyes y Reglamentos sobre protección del medio ambiente, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años, e inhabilitación de uno a tres años conforme al artículo 36º, incisos 1, 2 y 4.

2.2.4 LEY GENERAL DE INDUSTRIAS (LEY 23407)

Art. 103.- Las empresas industriales desarrollarán sus actividades sin afectar el medio ambiente ni alterar el equilibrio de los ecosistemas, ni causar perjuicio a las colectividades; en caso contrario, las empresas industriales están obligadas a trasladar sus plantas en un plazo no mayor de cinco años bajo apercibimiento de sanciones administrativas o de otra naturaleza.

2.2.5 REGLAMENTO DE ASEO URBANO (D.S 033-81-SA)

Modificado por Decreto Supremo 037-83-SA

Artículo 4º.- Las actividades de Aseo Urbano deberán efectuarse en forma tal que se prevenga:

- De la contaminación del aire, agua y suelo.
- De olores objetables, polvo, ruido, condiciones antiestéticas u otras molestias.

2.2.6 CODIGO CIVIL (DECRETO LEGISLATIVO 295)

Limitaciones por razón de vecindad

Art. 961.- El propietario, en ejercicio de su derecho, y especialmente en su trabajo de explotación industrial, debe abstenerse de perjudicar las propiedades contiguas o vecinas, la seguridad, el sosiego y la salud de sus habitantes.

Están prohibidos los humos, hollines, emanaciones, ruidos, trepidaciones y molestias análogas que excedan de la tolerancia que mutuamente se deben los vecinos en atención a las circunstancias.

2.2.7 REGLAMENTO DE ACONDICIONAMIENTO TERRITORIAL, DESARROLLO URBANO Y MEDIO AMBIENTE (DECRETO SUPREMO 007-85-VC)

Art. 53º.- Los Municipios emitirán y aplicarán ordenanzas, resoluciones, edictos o acuerdos y reglamentos para el control y corrección de los problemas de contaminación ambiental y afectación del espacio urbano y rural.

Art. 54º.- Los Municipios harán cumplir las normas e impondrán las sanciones del caso, aplicando de ser necesario los procedimientos coactivos de ley o solicitando el apoyo de organismos competentes y de la fuerza pública para hacer efectivas las prohibiciones o restricciones de las actividades que:

Deterioreen el aire, agua, suelo y subsuelo, flora y fauna; riberas marítimas, fluviales y lacustres, en desmedro de la calidad de vida y de la seguridad de bienes y personas.

Originen ruidos molestos o nocivos.

Realicen una inadecuada disposición de afluentes sólidos, líquidos y gaseosos de cualquier origen.

2.2.8 REGLAMENTO DEL SENAMHI (DECRETO SUPREMO 005-85-AER)

Art. 4º.- Son objetivos del SENAMHI:

El conocimiento de los procesos meteorológicos, mediante estudios e investigación científica que permita:

La preservación del medio ambiente atmosférico mediante una vigilancia permanente de las condiciones meteorológicas que puedan favorecer la contaminación general del aire, detectando cualquier cambio en la composición de la atmósfera y sus posibles efectos sobre el clima.

2.2.9 CODIGO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL (DECRETO LEGISLATIVO 420)

Art. 1º.- Las normas del presente Código rigen para todo el territorio nacional y regulan la circulación de personas animales y vehículos en las vías públicas, y en las vías privadas abiertas al tránsito.

Art. 3º.- El presente Código tiene los siguientes objetivos:

Disminuir la contaminación del Medio Ambiente por los vehículos automotores.

Art. 4 º.- Son autoridades de tránsito:

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones;

Las Municipalidades Provinciales; y

La Policía de Tránsito.

Art. 5º.- El Ministerio de Transportes y Comunicaciones es el órgano rector, a nivel nacional, en materia de utilización y señalización de las vías terrestres, correspondiéndole, igualmente, absolver las consultas que le someta el Gobierno y presentar las iniciativas que juzgue convenientes.

Art. 7º.- La Policía de Tránsito ejerce las funciones de control dirigiendo y vigilando el normal desarrollo del tránsito en las vías públicas. De igual forma denunciará ante las autoridades que corresponda, las infracciones previstas en el presente Código y los accidentes de tránsito que sucedan.

Para este efecto las Municipalidades Provinciales podrán establecer su Policía de Tránsito.

Art. 72º.- No deben circular los vehículos que expidan gases, humos o produzcan ruidos que superen los niveles máximos permitidos.

Art. 73º.- La autoridad competente, en situaciones excepcionales, podrá prohibir o restringir la circulación de vehículos en determinadas zonas.

Art. 77º.- Los vehículos automotores y los remolques y semirremolques destinados a circular por la vía pública, deben someterse a una revisión técnica periódica a fin de determinar el estado de funcionamiento de las piezas y sistemas que garanticen la seguridad y eviten la emisión de

contaminantes. Ningún vehículo automotor debe superar los límites reglamentarios de emisión de contaminantes, ruidos y radiaciones parásitas.

Las piezas y sistemas a examinar, la periodicidad de la revisión, el procedimiento a emplear y el criterio de evaluación de sus resultados serán establecidos en el reglamento.

2.2.10 REGLAMENTO DE INFRACCIONES Y SANCIONES DE TRANSITO (DECRETO SUPREMO 17-94-TCC)

Art. 3º.- Las infracciones de Tránsito se clasifican en:

Infracciones a la Seguridad.

Circular produciendo contaminación o ruidos molestos que superan los límites reglamentarios (Infracción Leve).

Art. 5º.- Las infracciones a las normas de tránsito serán sancionadas por la Autoridad Municipal Provincial competente, donde éstas se hubieran cometido, según una escala de multas tomando como referencia la Unidad Impositiva Tributaria (UIT).

2.2.11 DECRETO SUPREMO Nº 047-2001-MTC

Indica que, el inadecuado mantenimiento de los vehículos automotores por una falta de control y crecimiento del parque automotor, en los últimos años, ha generado un incremento sustantivo en los niveles de contaminación ambiental producidos por el funcionamiento de los motores de dichos vehículos, en especial en las zonas urbanas, derivando de esta situación efectos nocivos para la salud de las personas;

Que, de conformidad con el Artículo 3 de la Ley Nº 27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre, la acción estatal en materia de transporte y tránsito terrestre se orienta a la satisfacción de las necesidades de los usuarios y al resguardo de sus condiciones de seguridad y salud; así como a la protección del ambiente y la comunidad en su conjunto;

Que, el inciso l) del Artículo 23, del Decreto Ley Nº 25862, Ley Orgánica del Sector Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, señala que la Dirección General de Medio Ambiente es la encargada de proponer la política referida al mejoramiento y control de la calidad del medio ambiente, así como

de supervisar, controlar y evaluar su ejecución, proponiendo la normatividad subsectorial correspondiente;

Que, mediante Decreto Supremo N° 044-98-PCM, se aprobó el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, el cual establece el procedimiento de formulación y aprobación de Límites Máximos Permisibles;

Que, siguiendo el procedimiento establecido en dicho Reglamento, el 10 de abril de 2001, la Comisión Ambiental Transectorial, aprobó la prepublicación de los Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para vehículos en circulación, vehículos nuevos o producidos para el Perú, usados a ser importados y vehículos menores, la misma que se prepublicó el 12 de mayo del presente año;

Que, el Artículo 237 del Reglamento Nacional de Tránsito, aprobado por Decreto Supremo N° 033-2001-MTC, dispone que está prohibida la circulación de vehículos que descarguen o emitan gases, humos o cualquier otra sustancia contaminante que provoque la alteración de la calidad del medio ambiente, en un índice superior a los Límites Máximos establecidos en el Reglamento Nacional de Vehículos;

Que, el Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado por Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, establece en los Artículos 35 al 38, que los Límites Máximos Permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional, vehículos nuevos importados o producidos y vehículos usados importados, que se incorporen al parque automotor nacional, se adecuarán a la norma que emitirá el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción;

Que, es necesario precisar que los Límites Máximos Permisibles a que se refiere el Reglamento Nacional de Vehículos, son los que aprueba la Presidencia del Consejo de Ministros, a propuesta del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, en consecuencia, es necesario fijar los Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes producidas por vehículos automotores que circulen

en la red vial nacional; así como de aquellos que van a incorporarse al parque automotor nacional;

Que, asimismo, a fin de efectuar las mediciones de control de las emisiones adecuadamente, es necesario homologar los equipos a utilizar en el control de dichas mediciones; de conformidad con lo dispuesto en el inciso 8), del Artículo 118 de la Constitución Política del Perú, en la Ley N° 27181, en el Decreto Ley N° 25862 y en los Decretos Supremos N.ºs. 044-98-PCM y 034-2001-MTC.

Con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros:

DECRETA:

Artículo 1.- Establézcase en el ámbito nacional, los valores de los Límites Máximos Permisibles (LMPs) de Emisiones Contaminantes para vehículos automotores en circulación, vehículos automotores nuevos a ser importados o ensamblados en el país, y vehículos automotores usados a ser importados, que como Anexo N° 1, forman parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Precísese que los Límites Máximos Permisibles (LMPs) de Emisiones Contaminantes para vehículos automotores en circulación, vehículos automotores nuevos a ser importados o ensamblados en el país, y vehículos automotores usados a ser importados, a que se refiere el Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado por Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, son los establecidos en el presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Los procedimientos de prueba y análisis de resultados para el control de las emisiones de los vehículos automotores se establecen en el Anexo N° 2, el mismo que forma parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 4.- Los equipos a utilizarse para el control oficial de los Límites Máximos Permisibles (LMPs), deberán ser homologados y autorizados por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, a través de la Dirección General de Medio Ambiente, previo cumplimiento de los requisitos establecidos en el Anexo N° 3, el mismo que forma parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 5.- Los vehículos automotores cuyas emisiones superen los Límites Máximos Permisibles (LMPs), serán sancionados conforme lo establece el Reglamento Nacional de Tránsito.

Artículo 6.- Los vehículos que tengan el tubo de escape deteriorado no podrán ser sometidos al control de emisiones, considerándose que no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMPs.) y se procederá a aplicar la sanción correspondiente por emisión de contaminantes, según lo dispuesto en la norma vigente.

Artículo 7.- Autorícese al Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción a través de la Dirección General de Medio Ambiente, a revisar y ajustar los Límites Máximos Permisibles (LMPs) establecidos en el Anexo N° 1 del presente Decreto Supremo antes de los cinco años establecidos en la Primera Disposición Complementaria del Decreto Supremo N° 044-98-PCM, exonerándose para este caso específico del cumplimiento de las etapas y procedimientos establecidos en dicha norma.

Artículo 8.- Para la aplicación de las disposiciones contenidas en el presente Decreto Supremo se tendrá en cuenta las definiciones que se consignan en el Anexo N° 4, el mismo que forma parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 9.- Facúltase al Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, para que mediante Resolución Ministerial pueda complementar y modificar, en caso necesario, los Anexos N°s. 2, 3 y 4 del presente Decreto Supremo.

Artículo 10.- El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, expedirá las disposiciones complementarias necesarias para la mejor aplicación del presente Decreto Supremo.

Artículo 11.- Derógase el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 007-2001-MTC, así como las demás disposiciones que se opongan a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

Artículo 12.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros y por el Ministro de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

TABLA 2.1

VALORES DE LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

I. LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VEHICULOS EN CIRCULACION A NIVEL NACIONAL

a) PARA SU APLICACIÓN INMEDIATA			
VEHÍCULOS MAYORES A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL (livianos, medianos y pesados)			
AÑO DE FABRICACION	CO % de Volumen	HC (ppm) (1)	CO + CO ₂ % (mínimo) (1)
Hasta 1995	4,5	600	10
1996 en adelante	3,5	400	10

(1) Para vehículos a Gasolina : Unicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores, para Hidrocarburos (HC): modelos hasta 1995; HC 650 ppm y 8% CO + CO₂, modelos 1996 en adelante; HC 450 ppm y 8% CO + CO₂

VEHÍCULOS MAYORES A DIESEL (Livianos, medianos y pesados)		
AÑO DE FABRICACION	Opacidad : k(m ⁻¹) (2)	Opacidad en %
Antes de 1995	3,4	77
1996 en adelante	2,8	70

(2) Para Vehículos a Diesel: Unicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1000 m.s.n.m., se aceptará una corrección por altura de 0.25 k(m⁻¹) por cada 1000 m.s.n.m. adicionales, hasta un máximo de 0.75 k(m⁻¹)

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE DOS TIEMPOS QUE USAN MEZCLA DE GASOLINA - ACEITE COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	2,5	8000

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	4,5	600

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	Opacidad : k(m ⁻¹)	Opacidad en %
Mayores de 50 cc (3)	2,1	60

(3) Vehículos menores de 50 cc no requieren prueba de emisiones.

b) PRIMER REAJUSTE: A LOS DIECIOCHO MESES DE LA PUBLICACION DEL PRESENTE DECRETO SUPREMO

VEHÍCULOS MAYORES A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL

(livianos, medianos y pesados)

AÑO DE FABRICACION	CO % de Volumen	HC (ppm) (4)	CO + CO ₂ % (mínimo)
Hasta 1995	3,0	400	10
1996 en adelante	3,5	300	10
2003 en adelante	0,5	100	12

(4) **Para Vehículos a Gasolina:** Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores sólo para HC: modelos hasta 1995, HC 450 ppm y 8% CO + CO₂, modelos 1996 en adelante, HC 350 ppm y 8% CO + CO₂

VEHICULOS MAYORES A DIESEL

(livianos, medianos y pesados)

AÑO DE FABRICACION	Opacidad : k(m ⁻¹) (5)	Opacidad en %
Antes de 1995	3,0	72
1996 en adelante	2,5	65
2003 en adelante	2,1	60

(5) Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1000 m.s.n.m., se aceptará una corrección por altura de 0,25 k(m⁻¹) por cada 1000 m.s.n.m. adicionales, hasta un máximo de 0,75 k(m⁻¹)

**II. LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VEHICULOS NUEVOS QUE SE INCORPOREN
(IMPORTADOS O PRODUCIDOS) A NUESTRO PARQUE AUTOMOTOR**

VEHÍCULOS MAYORES AUTOMOTORES								
VEHÍCULOS LIVIANOS								
Alternativa 1: VEHICULOS DE PASAJEROS PBV ≤ 2.5 Ton o ≤ 6 asientos								
Año aplicación	Norma	Directiva	Tipo de motor	CO	HC + NOx g/km	HC	NOx	PM
2003	EURO II	94/12/EC	Gasolina	2,20	0,50	-----	-----	-----
		94/12/EC						
		94/12/EC	Diesel IDI	1,00	0,70	-----	-----	0,08
			Diesel DI	1,00	0,90	-----	-----	0,10
2007	EURO III	98/69/EC (A)	Gasolina	2,30	----	0,20	0,15	----
		98/69/EC (A)	Diesel	0,64	0,56	----	0,50	0,05
Alternativa 2: VEHICULOS DE PASAJEROS (LDV) ≤ 12 asientos								
Año aplicación	Norma	Regulación	Tipo de motor	CO g/ml	HC + NOx g/ml	HC g/ml	NOx g/ml	PM g/ml
2003	Tier 0	US83LDV	Gasolina	3,40	----	0,41	1,00	----
		US87LDV	Diesel	3,40	----	0,41	1,00	----

Nota: Para la primera etapa (años 2003 a 2006), los importadores, fabricantes o ensambladores, podrán optar por la Alternativa 1 o la Alternativa 2 o ambas para homologar sus vehículos.

VEHICULOS MEDIANOS									
Alternativa 1: VEHICULOS DE PASAJEROS > 2,5 Ton PBV o > 6 asientos / VEHICULOS DE CARGA < 3,5 Ton PBV									
CLASE Peso de Referencia (*)	Año aplicación	Norma	Directiva	Tipo de Motor	CO g/km	HC + NOx g/km	HC g/km	NOx g/km	PM g/km
I ≤ 1250 kg.	2003	EURO II	96/69/EC	Gasolina	2,20	0,50	-----	-----	-----
			96/69/EC	Diesel IDI	1,00	0,70	-----	-----	0,08
			96/69/EC	Diesel DI	1,00	0,90	-----	-----	0,10
≤ 1305 kg.	2007	EURO II	98/69/EC (A)	Gasolina	2,30	-----	0,20	0,15	-----
			98/69/EC (A)	Diesel	0,64	0,56	-----	0,50	0,05
II ≤ 1700 kg.	2003	EURO II	96/69/EC	Gasolina	4,00	0,60	-----	-----	-----
			96/69/EC	Diesel IDI	1,25	1,00	-----	-----	0,12
			96/69/EC	Diesel DI	1,25	1,30	-----	-----	0,14
≤ 1760 kg.	2007	EURO III	98/69/EC (A)	Gasolina	4,17	-----	0,25	0,18	-----
			98/69/EC (A)	Diesel	0,80	0,72	-----	0,65	0,07
III > 1700 kg.	2003	EURO III	96/69/EC	Gasolina	5,00	0,70	-----	-----	-----
			96/69/EC	Diesel IDI	1,50	1,20	-----	-----	0,17

> 1760 Kg.	2007	EURO III	96/69/EC	Diesel DI	1,50	1,60	-----	-----	0,20
			98/69/EC (A)	Gasolina	5,22	-----	0,29	0,21	-----
			98/69/EC (A)	Diesel	0,95	0,86	-----	0,78	0,10
Alternativa 2: VEHICULOS DE PASAJEROS (LTD) < 3864 kg. PBV y > 12 asientos / VEHICULOS DE CARGA (LTD) < 3864 kg. PBV									
CLASE Peso Bruto Vehicular	Año aplicación	Norma	Regulación	Tipo de Motor	CO g/mi	HC + NOx g/mi	HC Grmi	NOx g/mi	PM g/mi
LTD1 ≤ 1704 kg.	2003	Tier 0	US87LDT US87LDT	Gasolina	10,00	-----	0,80	1,20	-----
				Diesel	10,00	-----	0,80	1,20	0,26
LTD2 > 1704 kg. < 3864 kg.	2003	Tier 0	US87LDT US87LDT	Gasolina	10,00	-----	0,80	1,70	-----
				Diesel	10,00	-----	0,80	1,70	0,13

Nota: Para la primera etapa (años 2003 a 2006) los importadores, fabricantes o ensambladores, podrán optar por la Alternativa 1 o la Alternativa 2 o ambas para homologar sus vehículos.

- El peso de Referencia será establecido de acuerdo a la Norma Internacional aplicada o escogida.

VEHICULOS PESADOS								
VEHICULOS DE PASAJEROS o DE CARGA > 3,5 Ton PBV								
Año aplicación	Norma	Ciclo	Directiva	CO g/kw-h	HC g/kw-h	NOx G/kw-h	PM g/kw-h	Humo (m ⁻¹)
2003	EURO II	13 pasos	96/1/EC	4,00 -----	1,10 -----	7,00 -----	0,15 0,25*	----- -----
2007	EURO III	ESC + ELR	88/77/EEC	2,10 -----	0,66 -----	5,00 -----	0,10 0,13*	0,8 -----

* para motores con cilindradas de menos de 750 cc por cilindro y una potencia máxima a más de 3000 RPM

III. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA VEHICULOS USADOS QUE SE INCORPOREN (IMPORTADOS) A NUESTRO PARQUE AUTOMOTOR

VEHÍCULOS A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETROLEO Y GAS NATURAL			
Año de aplicación	C0% de Volumen	HC (ppm)	CO + CO ₂ % (mínimo)
2001 (segundo semestre)	0,50	100	12

VEHICULOS A DIESEL		
Año de aplicación	CLASE DE MOTOR	OPACIDAD k(m ⁻¹)
2001 (segundo semestre)	Sin turbo PBV < 3,0 Ton.	1,6
2001 (segundo semestre)	Con turbo PBV < 3,0 Ton.	2,1
2001 (segundo semestre)	Con o sin turbo PBV ≥ 3,0 Ton.	2,1

2.3 CONDICIONES AMBIENTALES DE AREQUIPA

El clima de Arequipa es generalmente templado y seco, gusta a muchos ya que no llega a tener inviernos muy fríos ni veranos fuertes de puro calor, la temperatura normalmente no sube sobre 25 grados centígrados y también es raro que baje de los 10 grados centígrados.

La humedad promedio es de 46%, en verano puede llegar hasta un 70% y en las demás estaciones como invierno, otoño y primavera llega a un mínimo de 27%. Por otra parte, las épocas de lluvias suelen ser entre los meses de enero y marzo las cuales no son exageradas calificadas como totalmente soportables.

Aunque no todo es tan bueno ya que la radiación solar como bien sabemos está aumentando en todo el mundo en Arequipa suele estar entre los 850 y 950 watt por metro cuadrado el cual es alto.

Los vientos de Arequipa se presentan principalmente en las noches y en las primeras horas del día con una dirección nor este, en las horas que restan se siente más las brisas del valle que van a una dirección sur oeste, siendo la velocidad del viento en promedio de 1,5 y 2,5 metros por segundo.

Se debe tener en cuenta que Arequipa pertenece a la costa del Perú, aunque tiene una pequeña parte de sierra, esto hace que tenga un clima muy especial y variado, pero sin llegar a extremos.

En resumen, podemos decir que el clima de Arequipa es muy bueno por no tener extremos fuertes de frío ni calor además que posee un clima seco la mayor parte del año, hay pocas personas que pueden quejarse del clima estando varios días en la ciudad, Moreno (2012: 01).

2.4 IMPACTO SOCIAL – CONSECUENCIA DE LOS GASES CONTAMINANTES

La contaminación causa muchas enfermedades y estas dependen del contaminante que las cause; generalmente son enfermedades de los ojos y del aparato respiratorio como la bronquitis, el asma y el enfisema pulmonar, así como resfriados frecuentes que ocasionan el mayor número de ausencias en los trabajos y escuelas. El cáncer espectral afecta a los deshollinadores, que están expuestos mucho tiempo al hollín; recientemente se ha descubierto que en los ambientes contaminados con hidrocarburos y en el carbón negro que se usa para la fabricación de neumáticos existen sustancias cancerígenas que pueden originar tumores malignos. El cáncer pulmonar afecta a los fumadores, aunque también se ha comprobado que las personas que no fuman y que están expuestas

al humo del cigarro tienen una gran posibilidad de contraer cáncer. En los últimos años han surgido nuevas enfermedades virales por causa de la contaminación ambiental, así como distintas enfermedades de la piel, entre las que están las alergias y el cáncer. Abitbol, Pablo. (2011:04)

2.4.1 PERDIDAS ECONÓMICAS EN LA AGRICULTURA

La agricultura representa la mayor proporción de uso de la tierra por el hombre. Sólo los pastos y los cultivos ocupaban el 37 por ciento de la superficie de tierras de labranza del mundo. Casi dos terceras partes del agua utilizada por el hombre se destina a la agricultura.

El aumento de la población y la industria, generan la desaparición de los terrenos agrícolas convirtiéndose estos en urbanizaciones y grandes parques industriales, los que, a su vez, disminuyen la producción agrícola, debido a la actividad humana como el aumento del parque automotor descontroladamente, más aún si los vehículos son obsoletos

La agricultura también es afectada por la emisión de los gases tóxicos de los motores de combustión interna del parque automotor a través de la degradación de la tierra, la salinización y el aumento nuevas de plagas, generando grandes pérdidas económicas en la producción agrícola. FAO (2015:01)

2.4.2 PERDIDAS ECONÓMICAS EN LA GANADERIA

La campiña Arequipa fue considerada como la primera cuenca lechera y ganadera de la región sur del Perú, pero esta nominación se fue perdiendo poco a poco convirtiéndose en una ciudad industrial, la que poco a poco iba perdiendo las áreas de producción agrícola y por ende la producción ganadera.

La producción ganadera se encuentra estrechamente interrelacionada con la agricultura y a la vez esta con el medio ambiente, por lo tanto, con el cambio climático, en el que la ganadería se ve perjudicada por el avance de la contaminación atmosférica debido al avance tecnológico y las actividades humanas en la ciudad de Arequipa. Sociedad Agrícola de Arequipa (SADA-2012)

Actualmente la construcción dinamiza la economía regional, la que hoy en su peor momento ejecuta menos proyectos, las construcciones de urbanizaciones generalmente se realiza en zonas agrícolas, por aprovechar la cercanía a la ciudad y fácil acceso a los servicios de agua y energía eléctrica, pese a los candados puestos por las autoridades para proteger el área verde, siempre hubo maneras de sacarle la vuelta a la ley. El modus operando de los agricultores es

hacer secar los terrenos de cultivos y hace creer que ahí ya no se puede cultivar. Entonces aparecen los inversionistas, compran el predio con la seguridad que habrá un cambio de uso, coordinando con la autoridad correspondiente, y de esta manera se tiene menos área de cultivo, por lo tanto, menos producción ganadera, lo que se convierte en una pérdida económica en la producción de este rubro. La Republica (2017)

2.4.3 PERDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA

Todos los materiales se degradan en contacto con el medio ambiente, más aún cuando este contiene gases contaminantes en el aire. El aire contaminado produce la degradación en las edificaciones del hormigón afectando no solo sus propiedades sino también la propia funcionalidad de la estructura y en ocasiones su aspecto estético. Las estructuras de hormigón se diseñan para una vida en servicio de por lo menos 50 años, aunque el inicio del proceso de deterioro puede presentarse prematuramente, a los 10 o 20 años. Las reparaciones no contempladas generan pérdidas económicas además de inconvenientes de funcionalidad y necesidad de utilizar nuevos recursos naturales. Las medidas de prevención adecuadas y el diagnóstico precoz de patologías de edificaciones pueden ser cruciales para velar por la seguridad de la edificación y alargar su vida útil evitando problemas estructurales, ello se reduda generalmente en el pintado de la edificación y debido a la contaminación este tipo de mantenimiento se hace más frecuente ya que las precipitaciones de las partículas en suspensión se acentúan en las superficies de las edificaciones de la ciudad de Arequipa, este tipo de mantenimiento preventivo necesario genera un costo y por ende una pérdida para el poblador. Priano (2012:02)

2.4.1 PERDIDAS ECONÓMICAS EN SALUD

En la actualidad, la fuerza motriz que mueve al mundo es la industria con fines comerciales, la cual tiene como objetivo tener un lucro cesante. El hombre en su afán de generar valor agregado y aún más de generar utilidad para su propio beneficio ha creado nuevas tecnologías las cuales le han servido como herramienta para facilitar su vida, pero también ha contaminado, dañado y perjudicado el medio ambiente sin tener en cuenta lo importante que es para cada ser humano

La industria, en su afán de progreso, desarrollo y mejores condiciones de vida desencadena una alarmante contaminación atmosférica (Ramírez, 2007). A pesar de que muchos países tienen una variedad de recursos ambientales, los cuales

pueden aumentar su crecimiento económico, no lo saben aprovechar; de lo contrario, han causado grandes problemas ambientales, las industrias hoy en día no calculan o no se imaginan el daño que están haciendo a la naturaleza y a ellas mismas, ya que no tienen en cuenta el costo-beneficio, es decir ¿por las ganancias que pueda generar la empresa, cual es el costo ambiental que esta le produce? , en muchos casos es demasiado alto.

Según Senent (1973) el coste de la contaminación y de la degradación del medio ambiente es difícil de calcular con exactitud, los ejemplos de repercusiones económicas y sociales son numerosos. En el caso de la contaminación atmosférica pueden citarse los siguientes: pérdidas debidas a los efectos sobre la salud física del hombre, consecuencias sobre la agricultura y ganadería, pérdidas debidas a la corrosión (metales, pinturas), aumento del costo de energía eléctrica consumida en eliminar polvo y en tratamientos anticontaminantes, gastos en el control de nivel de contaminación y en investigación. Como se puede ver, en muchos casos es muy difícil determinar cuál es el costo que el ser humano provoca al no cuidar el medio ambiente, sin embargo, todos llevamos esa responsabilidad.

Koré (1999) afirma que estimados recientes de la OMS indican que más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestos a niveles de contaminantes demasiados altos.

Las enfermedades que la contaminación le produce al hombre, pueden afectar la economía; a través del bajo rendimiento en el trabajo causando que la productividad disminuya, es decir si una persona se enferma está bajara el rendimiento productivo en una determinada empresa y en muchas ocasiones.

En la ciudad de Arequipa se sospecha el incremento de enfermedades respiratorias como, el asma seca, problemas gripales por cambio de temperatura de la mañana a la tarde, cáncer al pulmón, problemas con enfermedades relacionadas al hígado y riñones (cansancio), por lo que genera una pérdida por el alto costo en su tratamiento y la baja producción en el trabajo.

CAPITULO III

MODELO DEL DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DERIVADA DEL PARQUE AUTOMOTOR

3.1 TRATAMIENTO DE DATOS ESTADÍSTICOS

Para el presente trabajo de investigación utilizaremos el modelo de tratamiento de datos estadísticos que consiste en el análisis de consistencia, incluyendo la corrección de los posibles errores sistemáticos; la completación de los datos faltantes; y la extensión de los mismos a periodos más largos en base a otros registros existentes.

El análisis de la consistencia se realiza: primero, enfocando el problema de la detección de los cambios en los datos (días y meses más contaminados, según estaciones de monitoreo) el cual se hace más complejo en la medida que se considere más aspectos de las series de datos entregados por las estaciones de monitoreo. Así se divide el análisis en series simples y series compuestas según la disposición de la información; dentro de cada una de ellas, se puede considerar su comportamiento como dependientes o independientes, periódicos o no periódicos, normales o no normales, tiempo de cambio conocido o desconocido, entre otros; y segundo, desarrollando el caso en series múltiples independientes de tiempo de cambio conocido, a través del análisis de saltos y tendencias.

El análisis de saltos se realiza en tres fases: La identificación del salto mediante criterios físicos de campo, análisis visual de los gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información de la contaminación del aire por gases tóxicos emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor y el análisis de diagramas de los gases contaminantes de las estaciones de monitoreo; la evaluación y cuantificación del salto, según los estadísticos T y F para las medias y desviaciones estándar, respectivamente; y la corrección del salto en el periodo de información errada.

El análisis de tendencias se realiza en la media y desviación estándar, según la representación matemática, la estimación de parámetros, la evaluación mediante el estadístico T, y la corrección respectiva.

La completación de los datos faltantes se realiza teniendo en cuenta si la información disponible es periódica o no periódica; dentro de cada una de ellas, se considera si la serie es dependiente o independiente en el tiempo, utilizando para ello procedimientos de correlación cruzada, auto correlación y criterios prácticos, en orden de prioridad enumerada. Aliaga (1983)

La extensión de los datos se realiza utilizando los modelos de regresión lineal simple y múltiple, incluyendo un factor aleatorio dentro de la ecuación de estimación, y sin su inclusión respectiva.

Usando el análisis de correlación para llenar los valores incompletos o para extender los registros cortos basados en un registro más largo de uno o más puntos, es posible que los nuevos estimados de los parámetros de datos entregados por las estaciones de monitoreo, no sean mejorados; vale decir, sean menos precisos que los estimados desde el registro como original; por lo tanto se presentan criterios basados en el grado de correlación que permitan medir el mejoramiento de los estimados de los parámetros respectivos, y definir la conveniencia de ejecutar la extensión o no.

Tanto en el análisis de salto y tendencias, como en la complementación y extensión de los datos, se aplicarán al presente trabajo de investigación realizados en las estaciones de monitoreo de las principales calles y avenidas de la ciudad de Arequipa, demostrando el grado de utilidad, demostrando el grado de utilidad y la bondad de la metodología.

Finalmente se presentan las distribuciones derivadas como Chi-cuadrado, T de Student y de F, con sus valores de la distribución de probabilidades, así como los resultados en EXEL y SPSS.

El primero realiza un análisis de saltos y tendencia; vale decir cuando se tiene series independientes de tiempo de cambio conocido; el segundo realiza la detección de cambios en la media cuando se tiene series independientes de tiempo de cambio no conocido; esto es, cuando no se conoce el tiempo durante el cual ha ocurrido el cambio de la serie; y el tercero realiza un análisis de correlación entre las estaciones de monitoreo, para la complementación y extensión de los datos a nivel mensual y anual.

3.2 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

La no homogeneidad e inconsistencia en la secuencias de datos estadísticos representa uno de los aspectos más importantes del estudio en la contaminación del aire, particularmente partiendo en lo relacionado a lo conservación, desarrollo y control de la calidad del aire, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no homogeneidad en la muestra histórica, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros que se realicen obteniendo resultados altamente sesgados. Aliaga (1983)

La contaminación del aire es producida por factores hechos por el hombre tales como el parque automotor, actividad minera, industria y negocios como pollerías, etc.; o por cambios inesperados naturales y lentos procesos tales como ventarrones, incendios,

derrumbamientos, y similares, los que producen inconsistencia en la toma de información. Así, se tiene series de la calidad de aire que respiramos que presentan saltos y tendencias creados por el incremento o decremento del parque automotor, incremento o decremento del nivel de vida, varios desarrollos y cambios sociales y económicos. Innovaciones tecnológicas, deterioro de la salud precios y otros más.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta con saltos y tendencias, y la no homogeneidad es definida como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo. Así, por ejemplo, las no homogeneidades en los datos de la contaminación del aire son creados por tres fuentes principales:

- a) Movimiento de las estaciones de monitoreo en una distancia horizontal,
- b) Movimiento de las estaciones de monitoreo en una distancia vertical y
- c) Cambios en el medio ambiente de una estación como flujo vehicular, flujo de personas, semaforización, paraderos mal ubicados, rompe muelles, construcción de viviendas, entre otros.

3.3. TIPOS DE ERRORES

Los errores significativos se pueden obtener de muchas fuentes.

En forma general, los datos medidos Incluyen dos tipos de errores:

Errores aleatorios llamados también accidentales y errores sistemáticos

- a) Los errores Aleatorios se presentan a causa de la inexactitud en las mediciones y observaciones. Este tipo de errores son difíciles de evaluar después de transcurrir algún tiempo. Las causas que dan lugar a este tipo de errores pueden ser diversos, teniendo entre los más comunes:

Errores de observación como lecturas poco consientes, aparato ligeramente estropeado y mal colocado

Errores de transcripción de cálculo (los más frecuentes)

Errores de copia

Errores de impresión

Errores de interpretación

- b) Los errores sistemáticos son los de mayor importancia como consecuencia de los mismos, los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían, pudiendo producir grandes errores en los estudios de utilización y regulación que se realicen a partir de dichos datos.

Los errores sistemáticos pueden ser a la vez naturales y artificiales u ocasionales por la mano hombre, los mismos que ocurren en una dirección como los saltos y como las tendencias; de allí que sean este tipo de errores de los que se analicen para eliminarlos de los datos inconsistentes.

El problema de la detección de los errores sistemáticos es potencialmente complejo, a medida que se especule más en la naturaleza de los datos. Los cambios, en el fenómeno de la observación que induce a cambios en los datos, pueden ser naturales o causados por el hombre como se mencionó anteriormente y el tiempo durante el cual ocurre el cambio puede ser gradual o instantáneo. Así, por ejemplo, las estaciones pueden estar a distancias considerables.

Desde un punto de vista práctico son de mayor interés los errores sistemáticos ocasionados, para la intervención de la mano del hombre y en ellos se concentra el análisis de consistencia. Aliaga (1983)

3.4 CATEGORIZACIÓN DEL PROBLEMA

El problema de detección de cambios puede ser categorizado como sigue:

El fenómeno en estudio puede o no tener una componente cíclica (como datos, diarios, semanales mensuales, anuales y no anuales, respectivamente). Dentro de cada uno de ellos se puede considerar simples o múltiples. Además, el modelamiento del fenómeno lo cual es requisito para la detección de cambios puede o no incluir la estructura de dependencia.

Hay otras formas de subcategorización del problema, teniendo en cuenta que el tiempo de cambio puede o no ser conocido, los datos pueden ser registrados en tiempo continuo o discreto.

El tipo de cambio puede ser en el nivel (tal como en la media), en la variabilidad (tal como en la varianza), o un cambio en la estructura de dependencia (tal como el coeficiente de auto correlación), o una combinación de éstos y otros más.

Según la categorización del problema en series simples y múltiples, en la figura N° 3.1 se presenta un esquema general para la detección de cambios en los datos estadísticos de la contaminación atmosférica, actividades que se describen a continuación, mostrándose con flechas de doble raya el camino simplificado de análisis en saltos y tendencias.

**ESQUEMA GENERAL PARA LA DETECCION DE CAMBIOS EN LOS DATOS EVALUACION DE
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

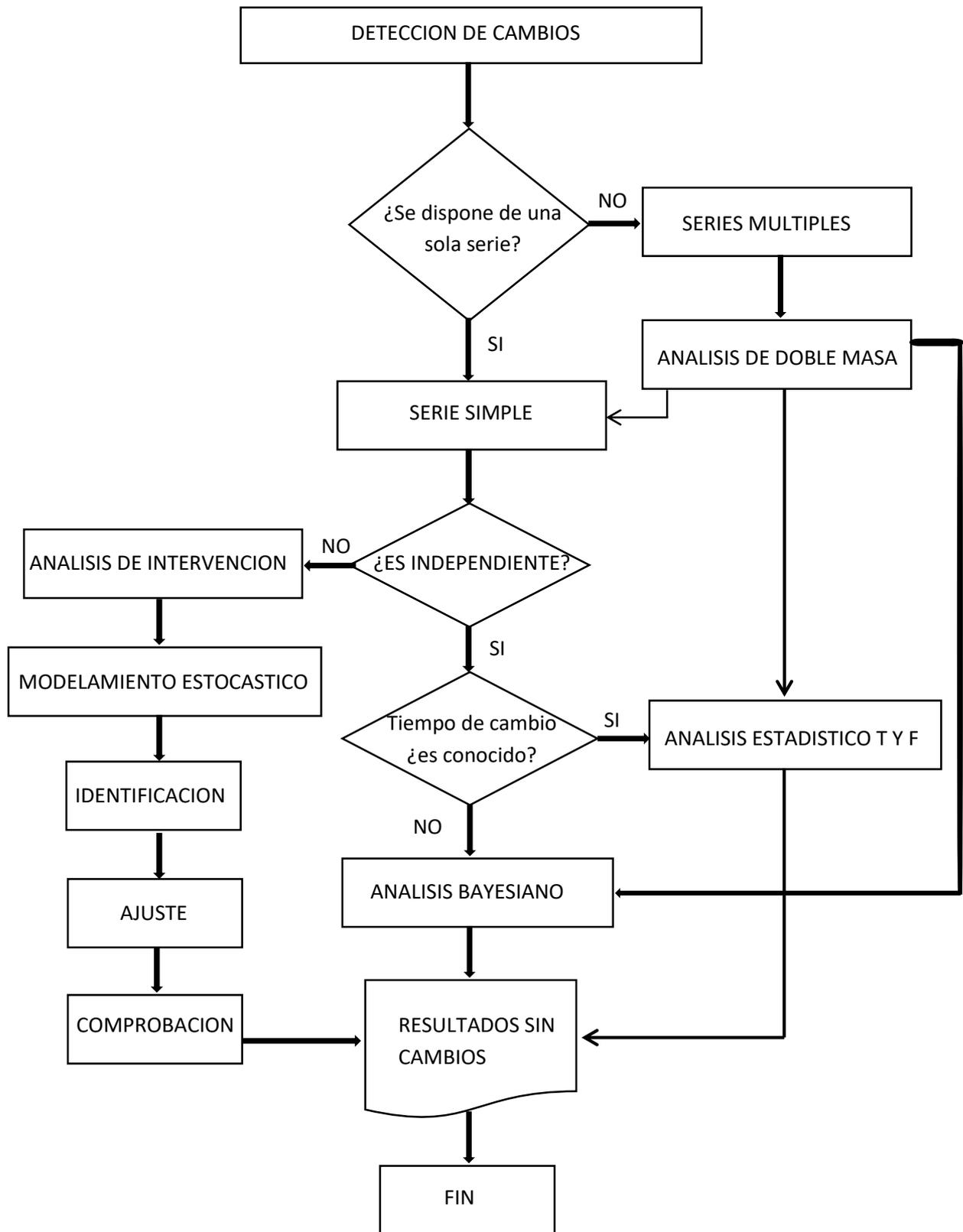


FIGURA N° 3.1 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.4.1 SERIES SIMPLES

Sea X_1, X_2, \dots, X_n un conjunto de variables aleatorias, con "n" igual al tamaño de la muestra histórica. Dichas variables constituyen una serie simple registrada en una estación respectiva, la misma que se puede escribir como:

$$X_1, X_2, \dots, X_{t-1}, X_t, X_{t+1}, \dots, X_n$$

Donde se asume que un "cambio" que puede o no afectar la distribución de X ocurre entre los periodos de tiempo t y t+1, donde $t = 1, 2, \dots, n-1$.

Un problema de detección de cambios en la serie simple consiste en lo siguiente:

- a. Asumir que X_1, X_2, \dots, X_t tiene una función de distribución marginal acumulativa (F.D.A.) igual a $F(\cdot)$, y que $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_n$ tiene una función de distribución marginal acumulada (F.D.A.) igual $G(\cdot)$
- b. Probar la hipótesis nula que $F(\cdot)$ es idéntica a $G(\cdot)$; esto es, no hay cambio en la distribución marginal antes y después del período de tiempo t. Si t es asumido conocido y las X 'S son asumidas independientes, entonces se reduce al problema clásico de dos muestras para los cuales hay muchas técnicas de análisis estadísticos.

3.4.1.1 CASO DE INDEPENDENCIA — TIEMPO DE CAMBIO CONOCIDO

Cuando las asunciones del modelo son impuestas, vale decir las variables son independientes y el tiempo durante el cual ocurre el cambio es conocido, entonces el problema se reduce a la aplicación de pruebas estadísticas. Ejemplo:

Suponer que X_1, X_2, \dots, X_t son v.a. independientes normales (realizar prueba de normalidad) e idénticamente distribuidas con media μ_1 y varianza σ^2 ; y $X_{t+1}, X_{t+2}, X_{t+3}, \dots, X_n$ son v.a. independientes normales e idénticamente distribuidas con media μ_2 y varianza σ^2 . Entonces utilizar la prueba estadística "T" de student para la comprobación de las medias y luego la prueba estadística "F" para la comprobación de las varianzas respectivas de ambos períodos. El procedimiento de aplicación de estas pruebas se detalla más adelante en el análisis de saltos específicamente.

3.4.1.2 CASO DE INDEPENDENCIA - TIEMPO DE CAMBIO NO CONOCIDO

Este es el caso que ha atraído una atención, considerable en la literatura estadística.

Considerar los modelos siguientes:

$$\begin{aligned} X_j &= F_1(j) + E_j, \quad j = 1, 2, \dots, t \\ X_j &= F_2(j) + E_j, \quad j = t + 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.1)$$

Dónde:

E_j es una secuencia de términos de errores no correlacionados con media cero ($\bar{E} = 0$),

$F_1(j)$: Es una función media para la primera parte de la serie, y

$F_2(j)$: Es la función media para la segunda parte de la serie

En los modelos de la ecuación (1) presentan los siguientes casos espaciales

1° Cuando las medias de ambos periodos son constantes, esto es:

$$\begin{aligned} F_1(i) &= U_1 \\ F_2(i) &= U_2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

2° Cuando las medias de ambos periodos son Funciones de regresión:

$$\begin{aligned} F_1(i) &= \alpha_1 + \beta_1 Z_i \\ F_2(i) &= \alpha_2 + \beta_2 Z_i \end{aligned} \quad \text{y} \quad (3.3)$$

Hin Kely (1970) ha derivado la distribución asintótica del estimador de t (por máxima verosimilitud) de la ecuación (2), donde U_1 y U_2 fueron asumidos conocidos, pero la distribución de E_j fue asumido arbitrariamente. No hay una fórmula explícita por máxima verosimilitud para el estudio de T en este caso. Si E_j son asumidos normalmente distribuidos, con varianza no conocida, la distribución asintótica de t con U_1 y U_2 no conocidas es la misma que para U_1 y U_2 conocidas.

Chernoff and Zachs (1964), Kander and Zachs (1966), and Gardner (1969), consideran problemas similares desde un punto de vista Bayesiano, citado en [13].

Lee and Heghiniam (1977) consideran el siguiente caso:

$$X_j = \begin{cases} U + E_j, & J = 1, 2, \dots, t \\ U + d + E_j, & J = t + 1, \dots, n \end{cases} \quad (3.4)$$

Dónde:

Ej es un conjunto de variables aleatorias normalmente distribuidos con $(0, \sigma^2)$

t: Es el punto de cambio

d: Es la cantidad de cambio

Considerando los siguientes aspectos:

- t es asumido uniforme 1,2,...,n-1,
- d y U son asumidos cada uno normal con media cero, pero diferentes variancias
- Todas las variables son independientes
- También $\frac{\sigma^2}{n} \ll \sigma_U^2$ y $\sigma^2 \ll \sigma_d^2$

Se tiene que la distribución posterior conjunta (D.P.C.) del punto y cantidad de cambio (t y d respectivamente) son:

$$F(t, d / X_1 = x_1, \dots, x_n) = x_n = \{H(t) + [t(n-t)(d-d_t)^2]/n\}^{-\frac{(n-1)}{2}} \quad (3.5)$$

Para $-\infty < d < \infty$ y $t = 1, 2, \dots, n-1$

dónde:

$$H(t) = \sum_{i=t}^t (X_i - \bar{X}_t)^2 + \sum_{i=t+1}^n (X_i - \bar{X}_{n-t})^2 \quad (3.6)$$

$$\widehat{dt} = \bar{X}_{n-t} - X_t = \left[\left(\frac{1}{n-t} \right) \right] \sum_{i=t+1}^n X_i + \left(\frac{1}{t} \right) \sum_{i=1}^t X_i$$

\bar{X}_t y \bar{X}_{n-t} son los promedios del primer y segundo periodo, respectivamente.

X_i : Son los datos observados, en el tiempo i

De la distribución posterior conjunta dado en la ecuación (5), se puede obtener fácilmente la distribución posterior marginal (DPM) de cada uno de las variables.

Sobre esta base, se tiene que la distribución posterior del punto de cambio "t", está dado por:

$$F(t / X_1, x_1, \dots, X_n, x_n) = [n/(t(n-t))]^{1/2} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}_t)^2 + \sum_{i=t+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-t})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^{-(n-2)/2} \quad (3.7)$$

Para $t=1, 2, \dots, n-1$, cuyas términos han sido descritos anteriormente. Similarmente, la distribución Posterior de la Cantidad de Cambio d está dado por:

$$F(d/X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) = \sum_{t=1}^{n-1} F(t, d/X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) \quad (3.8)$$

Las ecuaciones (3.7) y (3.8) pueden ser utilizadas para detectar los cambios que han ocurrido en una serie de datos estadísticos de la contaminación atmosférica.

3.4.1.3 CASO DE DEPENDENCIA - ANÁLISIS DE INTERVENCIÓN

En todos los procedimientos anteriores, fue hecha la asunción de que las variables obtenidas X_i son independientes. En la práctica no solamente son observaciones sucesivas por lo general dependientes, sino no que las series de tiempo también pueden ser no estacionarias.

Box And Tiao (1965) fueron los primeros en intentar la detección de cambios en el nivel de una serie de tiempo dependiente y no estacionaria, quienes consideraron un proceso de media móvil integrada. Después de este primer intento, el término “Análisis de intervención” fue considerado por muchos autores.

EL ANÁLISIS DE INTERVENCIÓN.- Es una técnica de modelamiento estocástico, diseñado para determinar en todo caso cuando una intervención natural o inducida por el hombre, causó un cambio significativo en el nivel de una serie de tiempo. El modelo de análisis de intervención es descrito para ver si es capaz de manejar una componente estacional, como su nombre lo indica, el tiempo de “intervención” es generalmente conocido, como en el caso anterior t es conocido, pero la descripción es diferente.

El modelo sigue un esquema iterativo del modelo de identificación, modelo de ajuste y comprobación respectiva. Pero mayor detalle del análisis de intervención, consultar Boes, Duane (1978) y Box and Tiao (1965). En particular, un análisis de intervención puede ser realizado cuando el tiempo y tipo de intervención es conocido.

3.4.2 SERIES MÚLTIPLES

Se considera series múltiples cuando se dispone de 2 o más series de observaciones, en vez de una simple. El índice indicador del tiempo cronológico de cada serie puede ser común, superpuesto de periodos no iguales, o no puede ser superpuesto en todas las series respectivas.

Cuando se considera el tratamiento de series múltiples, se cuenta con una ventaja cuando hay algunas relaciones entre ellas; si no existen tales relaciones se puede analizar las series múltiples como series individuales.

Por ejemplo, se quiere probar si hay diferencias entre los registros de contaminación del aire por diferentes tipos de contaminantes emitidos por los vehículos del parque

automotor en varias estaciones disponibles. Tal prueba puede ser un análisis de variancia.

Asumir que hay k series y se desea probar que dichas series son homogéneas.

Considerar $X_{i,j}$ la observación de la i -ésima serie del j -ésimo tiempo, donde $j = 1, 2, \dots, n$ con n_i igual a la longitud de la i -ésima serie. El modelo está dado por:

$$X_{ij} = U + B_i + E_{ij} \quad (3.9)$$

Donde E_{ij} son variables aleatorias asumidas normales con $(0, \sigma^2)$, B_i indica la diferencia en las medias de las series.

Se demuestra que las series son homogéneas, probando que los B_i son todos semejantes mediante el estadístico F ; rechazando la hipótesis de homogeneidad si el estadístico F_c excede el valor del cuantil apropiado de la distribución teórica F . Esta metodología es complementada con un análisis de doble masa que se explica más ampliamente en el análisis de saltos.

3.5. ANÁLISIS DE SALTOS

Los saltos "Jump" son denominados también resbalamientos, son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie estadística periódica o no periódica pasar desde un estado a otro, como respuesta a cambios hechos para el hombre debido a la continua emisión de gases tóxicos al ambiente o a cambios naturales continuos que pueden ocurrir (calentamiento global).

Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente y desde un punto de vista práctico, el análisis más importante es en los dos primeros. En la figura N° 3.2 se presenta el caso típico de un salto, cuya causa posible puede ser el cambio de la estación de medición, la cual durante un tiempo determinado se encontraba en un punto específico y luego la estación se ubicó en otro punto con mayor área de recepción, entre otros.

Las causas posibles que originen los saltos pueden ser muchas, por ejemplo: el cambio de estaciones espacialmente; cambio de la contaminación ambiental por emisión de gases tóxicos del parque automotor; un cambio repentino representa una pérdida o ganancia en el promedio, el salto ocurre en la media; la transición en una estación de un día otro ocurre en la variancia o desviación estándar, básicamente; por un incremento o decremento en la en el nivel de contaminación, el salto se produce en la media o desviación estándar.

3.5.1 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Debido a la complejidad del análisis para detectar los cambios en datos estadísticos de la contaminación del aire por el parque automotor, en este capítulo se presenta un procedimiento simplificado de fácil realización y ejecución en todos los estudios que se desarrollen, y es válido para las series simples como para las series compuestas o múltiples.

En la figura N° 04 se presenta el esquema simplificado para el análisis de saltos, que consiste en la realización de tres actividades principales.

- Identificación
- Evaluación y cuantificación
- Corrección y/o eliminación

3.5.2 IDENTIFICACIÓN DEL SALTO

La identificación del salto tiene por objeto detectar la presencia del mismo y evaluar la causa que puede ser por errores naturales u ocasionales por la intervención de la mano del hombre, mediante la combinación de tres criterios:

- a) Información de campo
- b) Análisis de los datos estadísticos
- c) Análisis de doble masa

ESQUEMA SIMPLIFICADO PARA EL ANALISIS DE SALTOS EN DATOS ESTADISTICOS DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

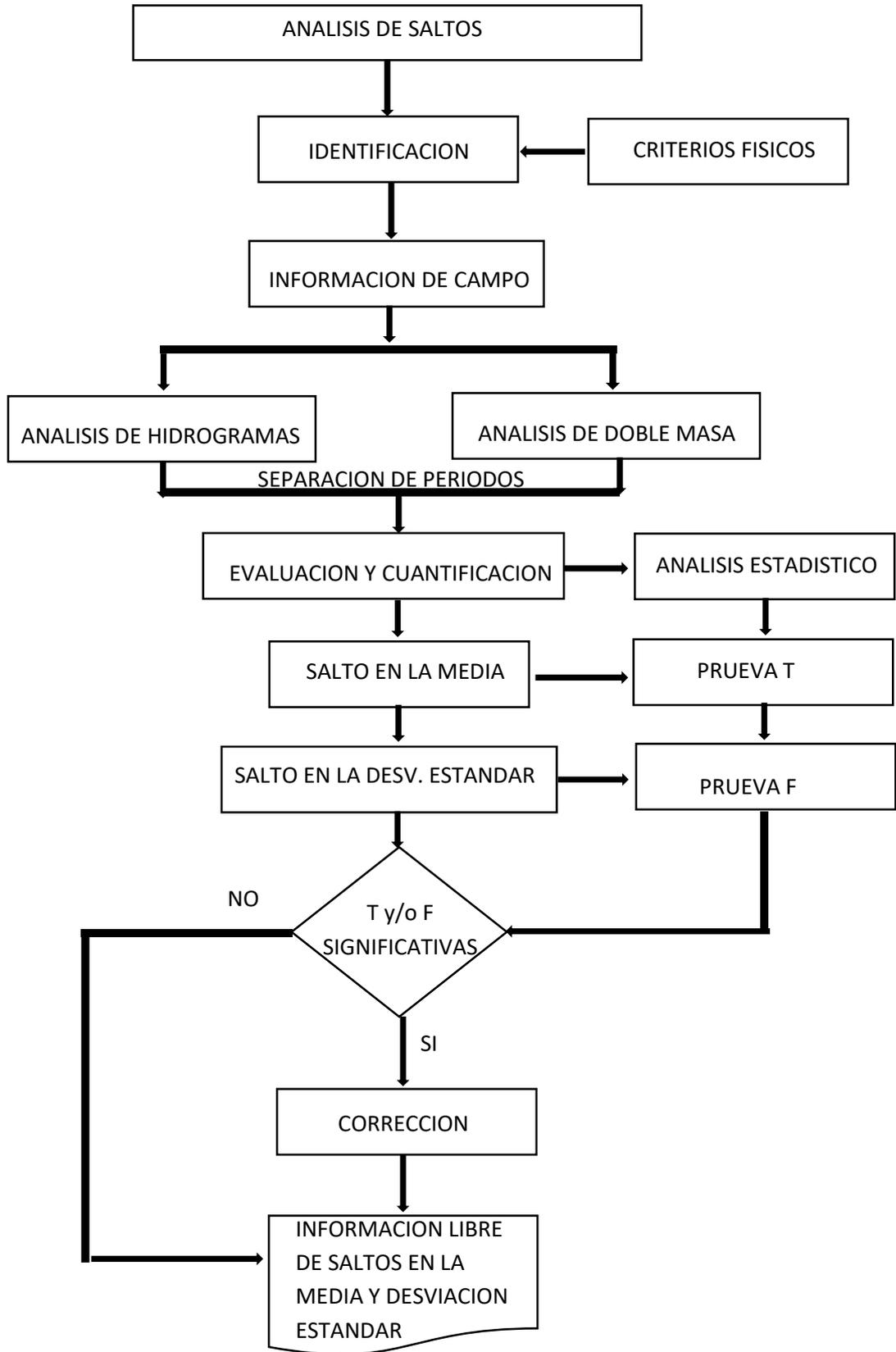


FIGURA N° 3.2 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.5.2.1 INFORMACIÓN DE CAMPO

Consiste en analizar la información obtenida en el campo, referidos a las condiciones de operación y mantenimiento de las estaciones de monitoreo, cambio de operarios, traslado de las estaciones, variación de la contaminación atmosférica por aumento del parque automotor, básicamente; lo que va a permitir formularse una primera idea de los posibles cambios que están afectando a la información disponible, y también conocer el tiempo durante el cual han ocurrido dichos cambios; en otras palabras, permite detectar las causas que justifiquen físicamente la presencia de saltos en los datos.

3.5.2.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTADÍSTICOS

Esta fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información estadística disponible - combinando con los criterios obtenidos del campo, para detectar la regularidad o irregularidad de los mismos; para lo cual, se tiene la gráfica en coordenadas cartesianas representando el eje de las ordenadas el valor de la información obtenida (contaminación atmosférica) y el eje de las abscisas el tiempo cronológico respectivo (anuales mensuales semanales o diarias).

De la apreciación visual de estos gráficos se deducen si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquella que muestra en forma evidente valores constantes en periodos en los cuales físicamente no es posible debido a la característica aleatoria de los datos, y cuando no hay compatibilidad con la información obtenida en el campo.

Una de las formas más adecuadas para indicar en este primer análisis cuales son los posibles periodos que presentan la información dudosa y cuales son aparentemente buenos, consiste en lo siguiente:

- a. Cuando se dispone de una serie simple, vale decir un solo registro de información, esta se puede dividir en varios periodos y compatibilizar con la información de campo obtenido, tratando de no confundir un salto con una serie de valores bajos de manera prolongada durante un buen tiempo o con la ocurrencia de una contaminación muy alta durante buen tiempo. Así, por ejemplo, si se tiene que una estación después de un cierto tiempo es trasladado a otro lugar, es muy probable que la información obtenida presente un salto entre los datos registrados al inicio y los registrados en el nuevo lugar de la estación.

Otra alternativa sería realizar un análisis Bayesiano, determinando para ello la distribución posterior del tiempo de cambio y de la cantidad de cambio, para un nivel de confianza con sus respectivos límites de variación, como se ha indicado en el capítulo anterior correspondiente a series simples.

- b. Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus datos estadísticos respectivos y se observa cuál periodo varía notablemente con respecto a los demás disponibles, realizando en este caso un análisis de series múltiples.
- c. Cuando se dispone en el área de estudio de datos estadístico de la calidad del aire y su respectiva contaminación, entonces se comparan los cuadros estadísticos respectivos, los cuales deben ser similares en su comportamiento. Se debe mantener en lo posible el periodo más largo y más reciente como el más confiable, quedando a criterio de la decisión técnica de acuerdo a la experiencia en el área.

Del análisis de los cuadros estadísticos complementado con la Información de campo, se obtiene una primera aproximación sobre la bondad de la Información, separando los periodos de información dudosa para su posterior análisis de doble masa y estadístico.

3.5.2.3 ANÁLISIS DE DOBLE MASA

El análisis de doble masa denominado también de “dobles acumulaciones”, es una herramienta, muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos estadísticos múltiples cuando se disponen de dos o más series de datos en lo que respecta a errores que pueden haberse producido durante la obtención de los mismos, pero no para realizar una corrección o partir de la curva de doble masa.

Los posibles errores se pueden detectar por el quiebre o quiebres que presenta la recta de doble masa; considerándose un registro de datos con menos errores sistemáticos, en la medida que presente un menor número de puntos de quiebre.

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que, si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico.

Existen muchos criterios y formas de realizar este análisis, pero como normas generales, se debe tener presente lo siguiente:

1. Realizar el análisis de doble masa entre los datos de la misma causa o del mismo efecto, por decir.
2. Si se presenta el mismo quiebre en todas las rectas de doble masa realizados, significa que la causa que ocasiona el salto es un error sistemático natural, para lo cual se debe complementar dicho análisis con información de otras estaciones de monitoreo; esto es lo que se denomina un análisis de consistencia espacial y temporal de los datos ya que los errores que se corrigen son los artificiales, u ocasionados por la mano del hombre.
3. Realizar el análisis de doble masa entre variables de causa y efecto, por lo que con una doble masa se puede cometer serios errores aduciendo falsamente que los quiebres son debido a errores sistemáticos, sin que necesariamente éstos existan.
4. Antes de realizar un análisis de doble masa, examinar detenidamente la información de campo y tipificar el comportamiento de los datos estadístico.

El procedimiento genérico para realizar el análisis de doble masa entre dos o más series de datos, es como se describe o continuación:

- a. Sea X_1, X_2, \dots, X_n una serie de observaciones sucesivas registradas en una estación supuestamente inconsistentes, y
- b. Sea Y_1, Y_2, \dots, Y_n una serie de observaciones que pueden ser (1) registradas en otra estación similar conocida y consistente, ó (2) el promedio de observaciones registradas en varias estaciones similares.

c. Las sumas parciales sucesivas de X_i y Y_i son obtenidas según:

$$S_1 = X_1$$

$$S_2 = X_1 + X_2$$

.

.

.

$$S_k = X_1 + X_2 + \dots + X_k$$

.

.

.

$$S_n = X_1 + X_2 + \dots + X_k + \dots + X_n$$

y

$$Z_1 = Y_1$$

$$Z_2 = Y_1 + Y_2$$

.

.

.

$$Z_k = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k$$

$$Z_n = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k + \dots + Y_n$$

- d. Los puntos $(S_1, Z_1), \dots, (S_n, Z_n)$, son ploteados en un sistema de coordenadas cartesianas y la curva resultante de todos los puntos se denomina CURVA DE DOBLE MASA.

Como las sumas parciales S_i y Z_i son cantidades positivas, entonces dicha curva es creciente en la dirección nor-este. Esta relación es de tal naturaleza que los puntos forman una línea recta. Un quiebre en la pendiente de la curva es tomado como evidencia de un posible cambio en los datos, el cual puede ser de usado como una base para la detección de cambios.

Analizando las diferencias $X_t - Y_t$ o $X_t - bY_t$, puede proporcionar una alternativa aproximada para ser usada gráfica o analíticamente.

Introduciendo tales diferencias, resulta una serie simple y puede ser analizada usando procedimientos para las mismas.

Una de las formas de realizar el análisis de doble masa en series múltiples consiste en:

- 1° seleccionar la estación más confiable de todas las estaciones disponibles, la misma que va a servir de comparación para los demás registros. Esto es posible siempre y cuando la información de campo y los diagramas estadísticos proporcionen la información necesaria para tomar tal decisión.
- 2° En caso de no realizarse el primer paso, plotear en el eje de las abscisas el promedio anual acumulado de la información de todas las estaciones de monitoreo y, en el eje de las ordenadas la información anual acumulada de cada una de las estaciones de análisis.
- 3° En las rectas de doble masa obtenidas en el paso anterior, seleccionar la que presente mayor regularidad, vale decir menor número de puntos de quiebre, como la más confiable.
- 4° La estación seleccionada como la más confiable se plotea en el eje de las abscisas y, en las ordenadas cada una de las demás estaciones, obteniéndose así tantas rectas como número de series se tengan menos uno. En estos gráficos se definen el o los quiebres que pueden ser significativos para su posterior análisis estadístico.
- 5° Realizar los cuatro pasos anteriores para los datos de contaminación del aire por emisiones de gases tóxicos del parque automotor. Si existe una relación funcional entre variables de causa efecto, entonces combinar el análisis entre estos datos.

Los diagramas de doble masa conjuntamente con el análisis de los cuadros estadísticos y la información de campo, sirven para determinar el rango de los periodos con información dudosa y confiable, para cada uno de las series de interés.

Se debe tener en cuenta que, sólo para efectos del análisis de doble masa, la información incompleta se llena por interpolación o con el promedio mensual, si el análisis es mensual.

Una vez identificado el o los periodos con información dudosa, se procede a evaluar y cuantificar el salto, tratándolos a cada uno de los registros como series simples independientes y de tiempo de cambio conocido.

3.5.3 EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos, se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos separados en la fase anterior, mediante las pruebas T y F, respectivamente.

Habiéndose obtenido de los gráficos originales y del análisis de doble masa el periodo de posible corrección de los datos, lo que implica que un periodo de datos se mantendrá con sus valores originales, esto en base a la decisión técnica de que periodo se mantendrá con los datos originales y cuáles van a modificar, se procede a analizar los dos primeros parámetros de ambos periodos, para comprobar estadísticamente si sus valores están dentro del rango permisible para un cierto nivel de significación, según la hipótesis planteada.

3.5.3.1 CONSISTENCIA EN LA MEDIA

Mediante la prueba estadística T de Student, se analiza si los valores promedios son estadísticamente indistinguibles, vale decir, probar que ambos valores provienen de la misma población de la forma que a continuación se describe.

a. cálculo de la media y desviación estándar para cada periodo según:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} X_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[\frac{1}{n_1-1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[\frac{1}{n_2-1} \cdot \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

x_i : Información de análisis de la serie 1

x_j : Información de análisis de la serie 2

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : Medias del periodo 1 y 2 respectivamente

$S_1(x)$ y $S_2(x)$: Desviación estándar del periodo 1 y 2 respectivamente

n_1, n_2 : Tamaño del periodo 1 y 2 respectivamente

n : Tamaño de la muestra

$$n = n_1 + n_2$$

b. Prueba de medias: El procedimiento para realizar esta prueba es el siguiente:

1° Establecer la hipótesis planteada y las alternativas posibles, así como el nivel de significación:

$$H_p: \mu_1 = \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0.05$$

2° Cálculo de la desviación estándar de la diferencia de los promedios según:

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}$$

(3.12)

$$S_p = \left\{ \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right\}^{1/2}$$

Dónde:

S_d : Es la desviación estándar de los promedios

S_p : es la desviación estándar ponderada

Los demás términos han sido descritos anteriormente.

3° Selección de la prueba. Para probar si las dos medias muestrales provienen de la misma población se realiza la prueba de hipótesis de dos medias, presentándose dos casos:

a) Cuando se tiene homogeneidad de varianzas, entonces se aplica la prueba estadística T, y

b) Cuando se tiene varianzas heterogéneas (desiguales), entonces se utiliza la prueba T' que viene hacer el promedio ponderado de los valores críticos de T para (n_1-1) y (n_2-1) , donde los coeficientes de ponderación, son las varianzas medias. Es recomendable realizar una prueba preliminar de varianza para ver si son homogéneas. En la práctica hidrológica, siempre se va a disponer de varianza homogénea, porque si fuesen desiguales, de todas maneras, en el análisis de saltos en lo desviación estándar, se homogeniza; por lo que, para el análisis, se asume que se dispone de muestras con homogeneidad de varianzas.

4° Realización de la prueba T:

a) Cálculo del valor estadístico T, según:

$$T_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (3.13)$$

Dónde: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis)

T_c es el valor de T calculado

b) Hallar el valor del T_t de los tablas con

$\alpha = 0.05$, y

G. L. = $n_1 + n_2 - 2$

Dónde:

G. L. = grados de libertad

T_t = T tabulado

T_c = T calculado

Criterios de decisión:

Si $|T_c| \leq T_t$ (95%) $\longrightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ (estadísticamente)

Si $|T_c| > T_t$ (95%) $\longrightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ (estadísticamente)

3.5.3.2 CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN STANDART

El análisis de la consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba “F” de la forma que a continuación se describe.

a. Cálculo de las variancias de ambos periodos:

$$S_1^2(x) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \right] \sum_{t=1}^{n_1} (x_t - \bar{x}_1)^2$$

(3.14)

$$S_2^2(x) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \right] \sum_{t=1}^{n_2} (x_t - \bar{x}_2)^2$$

b. Estadística “F”

1. Se establece la hipótesis planteada y alternante, así como el nivel de significación:

$$H_p : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (\text{variancias poblacionales})$$

$$H_0 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

2. Cálculo de F_c :

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x) \quad \text{ó}$$

(3.15)

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} , \quad \text{Si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

3. Hallar el valor de F_t en las tablas con: $\alpha = 0.05$

$$\text{G.L.N.} = n_1 - 1$$

$$\text{G.L.D.} = n_2 - 1$$

Dónde:

F_c = Valor de F calculado

F_t = Valor de F tabulado, de tablas

α = nivel significativo

G.L.N. = Grados de libertad del numerador

G.L.D. = Grados de libertad del denominador

4. Criterios de decisión:

$$\text{Si } F_c \leq F_t \quad (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x) \quad (\text{estadísticamente})$$

$$\text{Si } F_c > F_t \quad (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x) \quad (\text{estadísticamente})$$

3.6 CORRECCIÓN DE LOS DATOS

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistentes con 95 % de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres

3.6.1 PROCEDIMIENTO

Si resulta la media y la desviación estándar estadísticamente diferentes, entonces se corrige mediante una ecuación que permite mantener los parámetros del periodo más confiable. Dicha ecuación se expresa como:

$$X'(t) = \left[\frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \right] * S_2(x) + \bar{X}_2 \quad (3.16)$$

Donde:

$X'(t)$: Valor corregido de la información

$X(t)$: Valor a ser corregido

En la ecuación 3.16, el periodo corregido corresponde al primero, pero puede ser también el segundo, entonces la ecuación toma la siguiente forma:

$$X'(t) = \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} * S_1(x) - \bar{X}_1 \quad (3.17)$$

Dónde: \bar{X}_1 , \bar{X}_2 , $S_1(x)$ y $S_2(x)$ son valores definidos anteriormente.

Puede suceder también que los resultados de las pruebas estadísticas proporcionen los siguientes casos:

- Tanto las medias y desviaciones estándar no sean homogéneas, entonces no se corrige la información
- Las medias son homogéneas y no así las desviaciones estándar
- Las medias son homogéneas y las desviaciones estándar homogéneas
- Las medias y desviaciones estándar no son homogéneas

En cualquiera de los casos y de acuerdo a los valores estadísticos calculados y tabulares, se corrigen los valores que resulten estadísticamente diferentes.

3.6.2 BONDAD DE LA INFORMACIÓN CORREGIDA

Para comprobar la bondad de la información corregida, se efectúa nuevamente un análisis de salto en la media y en la desviación estándar entre el periodo confiable y el periodo con la información corregida, aplicando para ello las pruebas T y F,

respectivamente, cuyos resultados deben ser confiables al nivel de significación fijado con anterioridad.

3.6.3 LIMITACIONES DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS

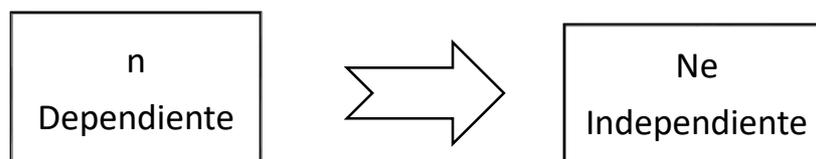
Como las pruebas estadísticas aplicadas para la media y desviación estándar se realiza en base a los valores críticos de las funciones de distribución T y F, respectivamente, estas son aplicables a muestras de datos que reúnen ciertas condiciones o requisitos como:

1. Las distribuciones T y F son derivadas de la distribución normal en base al teorema del límite central, entonces solo son aplicables a muestras que se distribuyen en forma normal.
2. Son aplicables a muestras no periódicas, ya que las periodicidades pueden destruir el poder de dichas pruebas; esto implica que son más aplicables a los datos anuales que a los no anuales (periódicos). Los datos no anuales se refieren a la información estacional, mensual, semanal o diaria
3. Las pruebas son válidas solamente para datos independientes, y por lo general a las series estadísticas son dependientes.

Se concluye que para que los resultados de las pruebas estadísticas sean más reales es necesario que las muestras de análisis se distribuyan normal e independientemente y no sean periódicos

3.6.4 MEJORAMIENTO DE LAS PRUEBAS

Cuando el análisis se realiza en datos no anuales, por lo general estos son dependientes y para mejorar la bondad de las pruebas, se puede utilizar un procedimiento de compensación de la estructura de dependencia, el cual consiste en: Si n es la longitud de la muestra dependiente, entonces este valor puede ser reducido a una longitud efectiva muestral que compense la dependencia de los datos y represente una independencia de los mismos, en función del primer coeficiente de auto correlación.



Así, para la prueba de media la longitud efectiva será:

$$Ne = \frac{1-\rho_1}{1+\rho_1} \cdot n \quad (3.18)$$

Dónde: N_e es la longitud efectiva muestral

n es la longitud de los datos dependientes

ρ_1 es el primer coeficiente de autocorrelación

El valor del T tabular se determina:

Para datos dependientes: T_t en $f(n-2)$ grados de libertad

Para datos independientes: T_t en $f(N_e-2)$ grados de libertad

Para la prueba de la desviación estándar, la longitud efectiva es:

$$N_e = \frac{1-\rho_1^2}{1+\rho_1^2} \cdot n \quad (3.19)$$

Cuyos términos han sido descritos anteriormente. El valor F tabular se determina en este caso, con $(N_{e1} - 1)$, $(N_{e2} - 1)$ grados de libertad, para el caso de datos compensados como independientes.

Cuando la información resulta muy dudosa, en algunos casos, es recomendable eliminar dichos datos y trabajar con el periodo confiable solamente.

3.7. ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Las tendencias son componentes determinísticas transitorias que se define como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información de los datos estadísticos de los contaminantes atmosféricos en cualquier parámetro de la misma, que afecten las distribuciones y dependencias de las series. Por ejemplo, si hay unos cambios ascendentes o descendente en la temperatura, vientos, lluvias, humedad relativa, etc.

3.7.1 PROPIEDADES

Las propiedades más importantes de las tendencias, son:

- Las tendencias no son esperadas a repetirse por sí mismas en la misma forma y con las mismas propiedades.
- Se puede separar de las otras componentes (periódicas, aleatorias) de la serie, lo que hace posible removerlas y/o incorporarlas.
- Pueden existir en cualquier parámetro de una serie, media, variancia, coeficiente de auto correlación, y en parámetros de alto orden; pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en la media, si la información es anual, y en la media la desviación es estandar si la información es mensual.
- Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, por lo que cualquier función continua de tendencia no lineales, pueden ser representado en series de potencia.

La figura N° 3.3 muestra un ejemplo de (a) tendencia lineal y (b) tendencia no lineal.

SERIE ESTADISTICA CON UNA COMPONENTE TRANSITORIA EN LA FORMA DE TENDENCIA

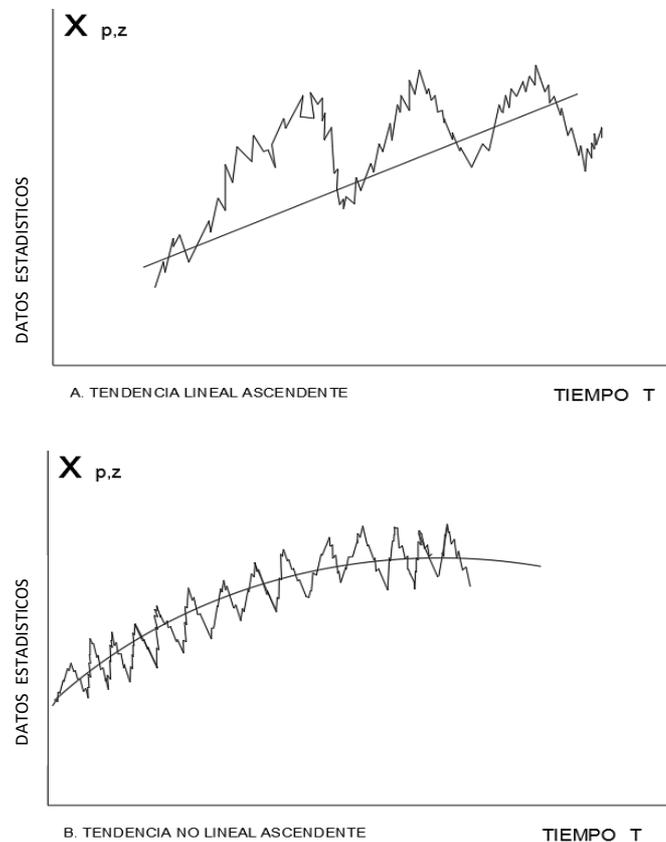


FIGURA N° 3.3 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.7.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Un esquema simplificado para el análisis de tendencias en datos estadísticos de la contaminación del aire, se presentan en la figura N° 3.4.

Previamente al desarrollo del esquema se ha analizado y corregido los saltos existentes, para luego analizar la tendencia en la media y en la desviación estandar en ese orden, justificándolos físicamente con la información de campo obtenida y evaluando su significado mediante un procedimiento estadístico.

Las tendencias por lo general pueden ser aproximadas por la ecuación de regresión lineal y en algunos casos por polinomios que representan tendencias curvilíneas.

Se analiza en los dos primeros parámetros de una serie:

- En la media
- En la desviación estandar

ESQUEMA SIMPLIFICADO PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN DATOS ESTADISTICOS

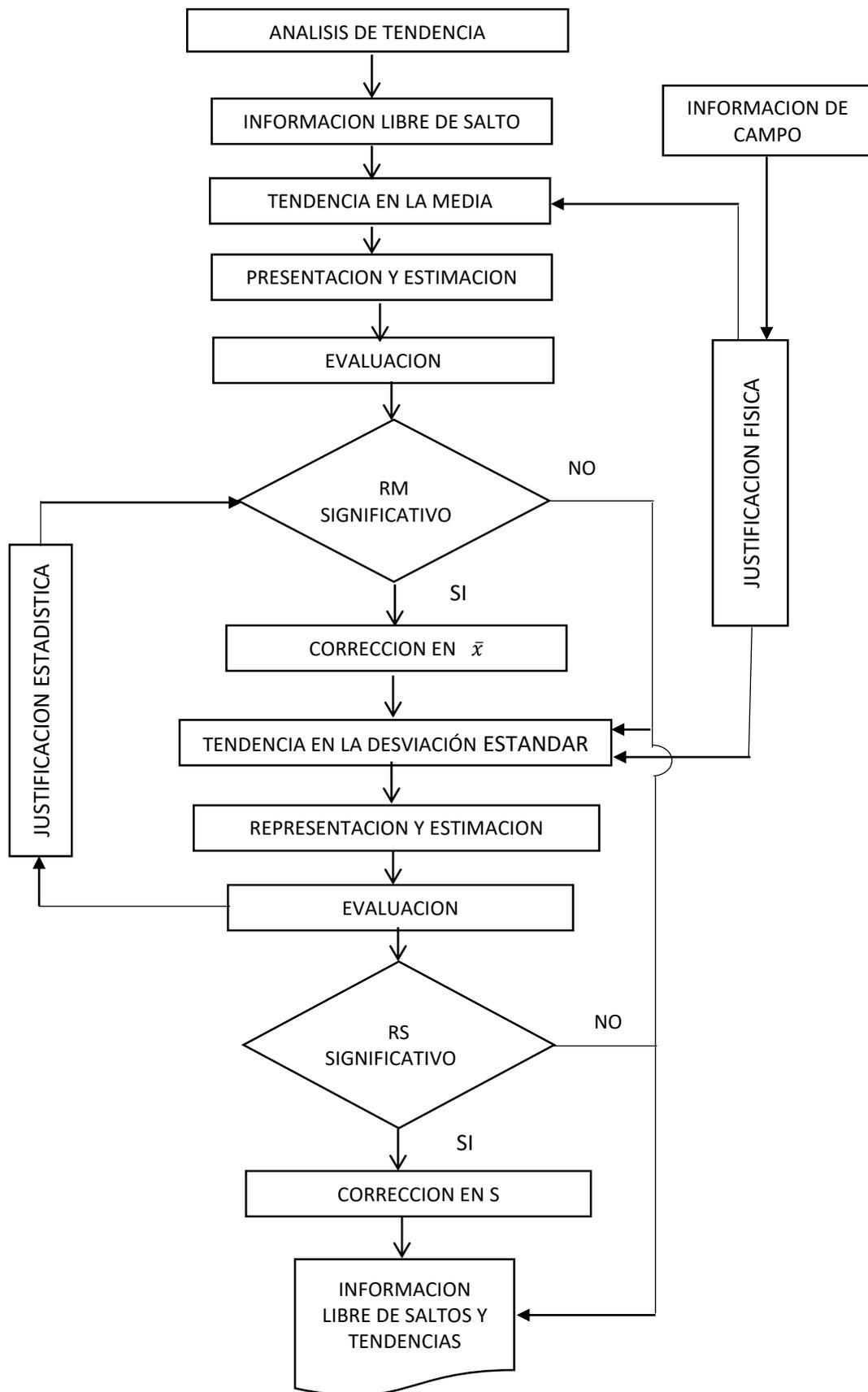


FIGURA Nº 3.4 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.8 TENDENCIA EN LA MEDIA

La tendencia en la media puede ser expresada en forma general por el polinomio:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (3.20)$$

En muchos casos, para estimar esta tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple como:

$$T_m = A_m + B_m t \quad (3.21)$$

Donde:

T_m Representa la tendencia en la media de la información estadística corregida de los saltos.

$A_m, B_m, C_m, D_m, \dots$ son los coeficientes de los polinomios de regresión que deben ser estimados a partir de los datos.

t es el tiempo tomado como la variable independiente en el análisis de regresión para evaluar la tendencia, y su valor se determina por:

$$t = (p-1)w + \zeta$$

Siendo $p = 1, 2, \dots, n$ con n igual al número del registro histórico de los datos.

$\zeta = 1, 2, \dots, w$, y es igual a la variación de los periodos de análisis con w igual al periodo básico. Que puede ser 365, 52 o 12 según la serie sea diaria, semanal, mensual, respectivamente.

Las constantes de regresión de estas ecuaciones pueden ser estimadas por el método de mínimos cuadrados.

Para calcular y analizar una tendencia lineal (en este caso), se procede de la siguiente manera: primero se estima los parámetros de la tendencia, luego se evalúa el grado de significación a un nivel de probabilidades, para finalmente corregirlo si ésta resulta significativa.

3.8.1 ESTIMACIÓN

Con la información disponible, se estima los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, dados en la ecuación (3.21) por:

$$\begin{aligned} A &= \bar{T}_m - \bar{B}_m \cdot \bar{t} \\ B_m &= (R \cdot S_{T_m}) / S_t \\ R &= \frac{\bar{t} \cdot \bar{T}_m - \bar{t} \cdot \bar{T}_m}{S_t \cdot S_{T_m}} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Donde:

\bar{T}_m Es el promedio de la tendencia e igual al promedio de los datos históricos.

\bar{t} Es el promedio del tiempo cronológico t

S_{Tm} desviación estandar de la tendencia en la media

S_t desviación estandar del tiempo t

R es el coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración

$\overline{t \cdot T_m}$ Es el promedio del producto de la tendencia por el tiempo, y su valor es igual a:

$$\overline{t \cdot T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_m)_i \cdot t_i \quad (3.24)$$

Los valores \bar{t} , \bar{T}_m , S_{Tm} se determinan según las ecuaciones (3.11) dados anteriormente.

3.8.2 EVALUACIÓN

Para saber si la tendencia es o no significativa, puede realizarse una prueba de hipótesis para el coeficiente de regresión lineal "Bm", o también para el coeficiente de correlación "R". En este caso se analiza el coeficiente de correlación, según el estadístico "T" de Student, desarrollando los siguientes pasos.

1º Establecimiento de la prueba de hipótesis y del nivel de confianza, según:

$H_0: \rho = 0$ (es el coeficiente de correlación poblacional)

$H_a: \rho \neq 0$

$\alpha = 0.05$

2º Cálculo estadístico de T_c , según:

$$T_c = \frac{R\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (3.25)$$

Donde

T_c es el valor del estadístico T calculado

N es el número total de información (datos)

R es el coeficiente de correlación muestral entre los datos y el tiempo en orden cronológico.

3º Determinación de los valores teóricos críticos de la distribución de probabilidades de T de Student al 95% de probabilidades, los mismos que se dan en forma tabular y un valor específico es encontrado con:

$$\alpha = 0.005$$

G.L= n-2 (G.L significa grados de libertad)

4º Criterios de decisión

Se refiere a la comparación del valor del T calculado con los valores críticos, para determinar si el primero cae dentro de la zona de aceptación o en la zona de rechazo.

Estos criterios para tomar la decisión, se sintetizan en la forma siguiente:

Si $|T_c| \leq T_t$ (95%), entonces se acepta la hipótesis planteada; vale decir, el coeficiente de correlación no es significativo.

Si $|T_c| > T_t$ (95%), entonces se rechaza la hipótesis planteada, aceptándose la hipótesis alterna; esto es, el coeficiente de correlación R es significativo al 95% de probabilidades.

3.8.3 ELIMINACIÓN DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA

Si resulta el coeficiente de correlación R no significativo (primer caso de los criterios de decisión) entonces la información no presenta una tendencia en la media significativa al 95% de probabilidades, por lo que no es necesario su corrección; pero si R resulta significativo (segundo caso de los criterios de decisión), entonces la tendencia en la media es significativa, siendo necesario en este caso su corrección respectiva.

La corrección de la tendencia en la media cuando resulta significativa a partir de los datos muestrales, se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$Y_t = X_t - T_m \quad (3.26)$$

O también

$$Y_t = X_t - (A_m + B_m \cdot t) \quad (3.27)$$

Donde:

X_t : es la serie de datos estadísticos analizada

Y_t : es la serie corregido (sin tendencia en la media)

T_m : es la tendencia media

t: 1,2,..., n con n igual al tamaño muestral.

La serie Y_t presenta las siguientes características

$$E [Y_t] = 0 \quad y$$

$$\text{VAR } [Y_t] = \text{VAR } [X_t]$$

Esto es, la media de Y_t es igual a cero y la variancia de Y_t es igual a la variancia de X_t .

Si la tendencia polinomial resultase significativo en la prueba de estadística, esta se corrige de la forma siguiente.

$$Y_t = X_t - (A_m + B_m \cdot t + C_t \cdot t^2 + D_m \cdot t^3 + \dots) \quad (3.28)$$

Cuyos términos ya han sido definidos anteriormente.

3.8.4 TENDENCIA EN LA DESVIACION ESTANDART

Una vez analizado y corregida la tendencia en la media, principalmente cuando los datos no son anuales (periódicos), se realiza el análisis la desviación estandar, como se describe a continuación.

La tendencia en la desviación estandar se presenta por lo general en los datos semanales o mensuales, no así en anuales. Esta tendencia al igual que la media, puede ser aproximada por la ecuación de regresión polinomial tal como:

$$T_s = A_s + B_s \cdot t + C_s \cdot t^2 + D_s \cdot t^3 \quad (3.29)$$

Donde

T_s es la tendencia en la desviación estándar

$t = 1, 2, \dots, n$

$n =$ número total de años

A_s, B_s, \dots son los coeficientes de los polinomios de regresión que deben ser estimados a partir de los datos.

En la mayoría de los casos estas tendencias son lineales, por lo que una buena aproximación es la ecuación de regresión lineal simple como

$$T_s = A_s + B_s \cdot t \quad (3.30)$$

Cuyos términos han sido descritos anteriormente.

3.8.4.1 ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN

Para estimar y evaluar la tendencia en la desviación estándar, se procede en la forma siguiente

1º A la información sin tendencia en la media (Y_t) se divide en varios periodos (en años)

2º Para cada periodo (año) se calcula su desviación estándar respectiva, obteniéndose tantos valores de desviaciones estándar como periodos (años), tal que agrupados se disponga, según:

$$S_p = \sqrt{\left[\frac{1}{w-1} \sum_{\tau=1}^w (Y_{p,\tau} - \bar{Y}_p)^2 \right]} \quad (3.31)$$

Donde:

S_p es la desviación estándar para el periodo p (año p)

$Y_{p,\tau}$ es la serie sin tendencia en la media

\bar{Y}_p es el promedio del periodo p

$p = 1, 2, \dots, n$, con n igual al número de periodos

$\tau = 1, 2, \dots, w$

$w = 12, 52$ o 365 si el análisis es con información mensual, semanal o diaria, respectivamente.

3º Cálculo de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, según la ecuación (3.23), a partir de las desviaciones estándar (por decir anuales) y el tiempo t (en años o periodos considerados), utilizando las ecuaciones dadas para la tendencia en la media.

4º Análisis del coeficiente de correlación R entre la tendencia en la desviación estándar y el tiempo, según el estadístico "T", con los mismos criterios que en el caso de la tendencia en la media; esto es, si el valor del T calculado resulta menor o igual que el valor del T tabular, entonces se acepta la hipótesis planteada concluyendo que la tendencia en la desviación estándar no es significativa al 95% de probabilidades; pero si el valor T_c resultase mayor que T_t , entonces la tendencia analizada si es significativa al mismo porcentaje de probabilidades, siendo necesario su corrección y/o eliminación.

3.8.4.2 ELIMINACIÓN DE LA TENDENCIA EN LA DESVIACION ESTANDART

Si el coeficiente de correlación R resulta significativo en la prueba estadística, entonces la tendencia en la desviación estándar es significativa, siendo necesario su corrección de la forma siguiente:

$$Z_t = \frac{Y_t}{T_s} \quad (3.32)$$

O también:

$$Z_{p,\tau} = \frac{X_{p,\tau} - T_m}{T_s} \quad (3.33)$$

Donde:

$Z_{p,\tau}$ es la serie sin la tendencia en la media ni en la desviación estandar, con las siguientes características: $E [Z_{p,\tau}] = 0$ $VAR [Z_{p,\tau}] = 1$

Las demás variables han sido definidas anteriormente.

La serie resultante $Z_{p,\tau}$ es libre de tendencia y de no homogeneidades y mantiene las componentes periódicas y estadísticas del proceso original $X_{p,\tau}$

La figura N° 5.5.3.1 muestra en forma gráfica como se elimina estas tendencias.

Como la serie $Z_{p,\tau}$ es estandarizada; esto es con media cero y variancia unitaria, se debe mantener los parámetros estacionarios o constantes en el tiempo para los estudios posteriores. Esto se consigue adicionando al proceso estandarizado los promedios de ambas tendencias como:

$$X'_{p,\tau} = \bar{T}_m + \bar{T}_s \cdot Z_{p,\tau} \quad (3.34)$$

Donde:

$X'_{p,\tau}$ es la serie estadística de la contaminación atmosférica, sin tendencias, pero con sus parámetros respectivos constantes: media igual a \bar{X} y desviación estandar igual a S_x , siendo:

$$\bar{X} = \bar{T}_m \quad \text{y} \quad S_x = \bar{T}_s$$

\bar{T}_m es el promedio de la tendencia en la media

\bar{T}_s es el promedio de la tendencia en la desviación estandar

ELIMINACION GRAFICA DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA Y DESVIACION STANDART DE LA SERIE

$$X_{p,\tau}$$

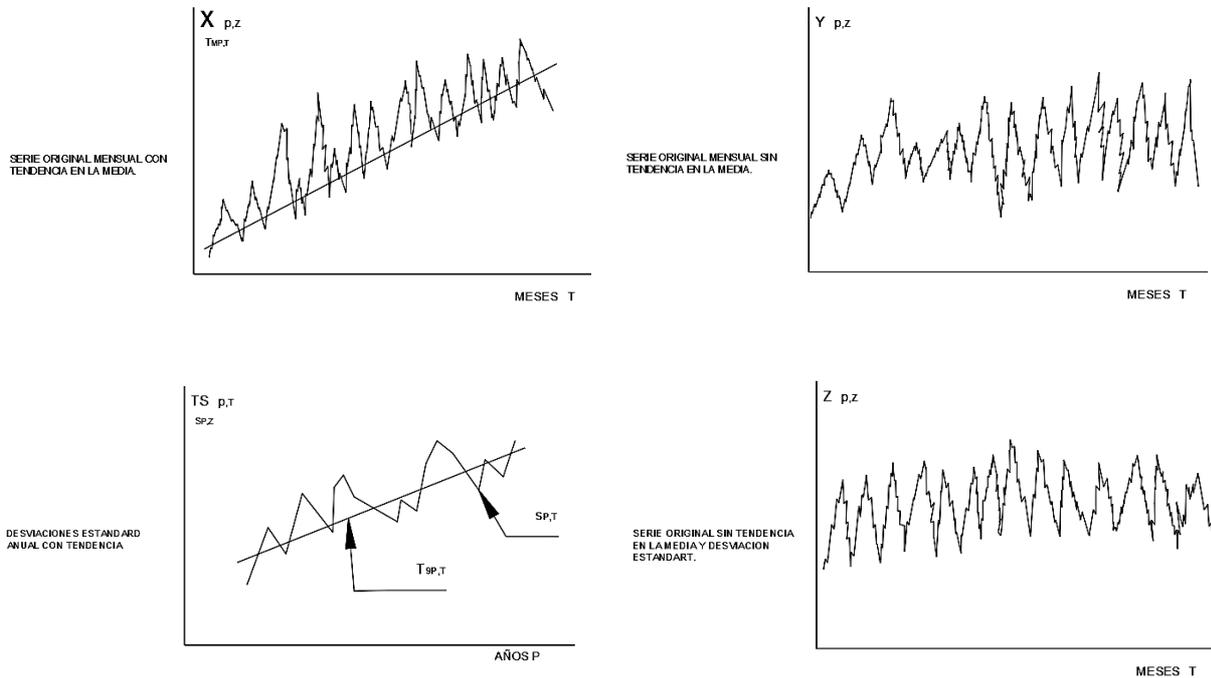


FIGURA Nº 3.5 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.7 COMPLEMENTACIÓN Y EXTENSIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS

Uno de los problemas más comunes con que se encuentra el especialista al realizar estudios estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos, es la falta de algunos datos en los registros históricos, o de un periodo considerable de información, perdidos por diferentes razones.

Para la aplicación de series particulares, los efectos de uno o dos datos faltantes (o vacíos) son frecuencia despreciable y los datos registrados pueden ser considerados como continuos. Sin embargo, puede ser ventajoso usar una estación cercana para completar el dato faltante, especialmente si el vacío está dentro de un periodo particular crucial.

Por ejemplo, si el dato faltante está dentro de un periodo particular conocido y que contiene condiciones extremas de contaminación atmosférica, el estudio va a ser muy sesgado sin el periodo de registro en mención. Esto es lo que se denomina la completación de uno o más datos faltantes.

También es muy común encontrar registros de una longitud corta de información en los puntos de interés; entonces se puede utilizar la información de otros registros en base a los a los cuales se formulen relaciones que permitan alargar el periodo de registro.

Esto se denomina la extensión de los datos estadísticos de evaluación de los contaminantes atmosféricos.

La extensión de los datos es más importante que la completación por cuanto modifican sustancialmente a los estimadores de los parámetros poblacionales; esto es, la media de una muestra corta es totalmente diferente a la media de una muestra más larga (extendida), y así se pueden comparar todos los momentos de la serie.

En la estimación individual de los valores para lugares de registros cortos, por medio de correlación con lugares de registros largos, la única forma posible de preservar la variabilidad del periodo corto y la intercorrelación con otros lugares es, introduciendo una variable aleatoria en cada estimación. Esta variable representará la parte de cada estimación que no está influenciada con los eventos ocurridos en otros lugares.

Existen varios procedimientos para realizar la completación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio, hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Al completar un dato faltante con criterios prácticos, es ciertamente erróneo y puede tener efectos muy perjudiciales. El efecto más serio es que la variancia de la serie puede ser significativamente reducida.

Cuando se completa un dato usando la ecuación de regresión con el dato de una estación cercana, se puede incluir correctamente un término aleatorio. Sin este término, el dato completado va a tener nuevamente una variancia reducida. Si la ecuación usada virtualmente explica toda la variancia de la serie, en este caso el término aleatorio no es importante y se puede o no incluir porque no causa daño. [26]

Cuando se realiza la completación y extensión de datos estadísticos de evaluación de los contaminantes atmosféricos, se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada, porque:

- a. Al aumentar la longitud de un registro de datos, se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros, ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito, entonces el estimador se asemeja más al parámetro poblacional.
- b. Si el procedimiento no es el adecuado, en vez de mejorar los estimadores se empeoran, siendo preferible utilizar solamente los registros cortos.

Salas la C. (1978) explica una metodología y menciona algunos criterios que permiten evaluar el mejoramiento de los estimadores con la extensión de los registros.

Los modelos de regresión lineal simple y múltiple son utilizados para la extensión (denominado también transferencia) de información desde uno o varios puntos, a una estación con datos incompletos o con registros cortos.

La decisión a tomarse sobre el tipo de modelo de regresión y de la elección de la variable independiente, depende de la disponibilidad de información y generalmente del criterio y experiencia del especialista.

El proceso de complementación y/o extensión de datos se realiza en las series consistentes, vale decir, después de analizado la confiabilidad de los mismos.

3.7.1 TIPOS DE CORRELACIÓN

Para efectos de comprensión de la terminología utilizada, se define las correlaciones existentes en el tiempo y en el espacio, las mismas que son de tres tipos:

- a. Correlación en el tiempo solamente
- b. Correlación en el espacio solamente
- c. Correlación en el tiempo y espacio

En la figura N° 3.6 se ilustra gráficamente los tipos de correlaciones mencionadas anteriormente, cuya interpretación es como sigue:

TIPOS DE CORRELACIONES EXISTENTES ENTRE DOS SERIES DE DATOS

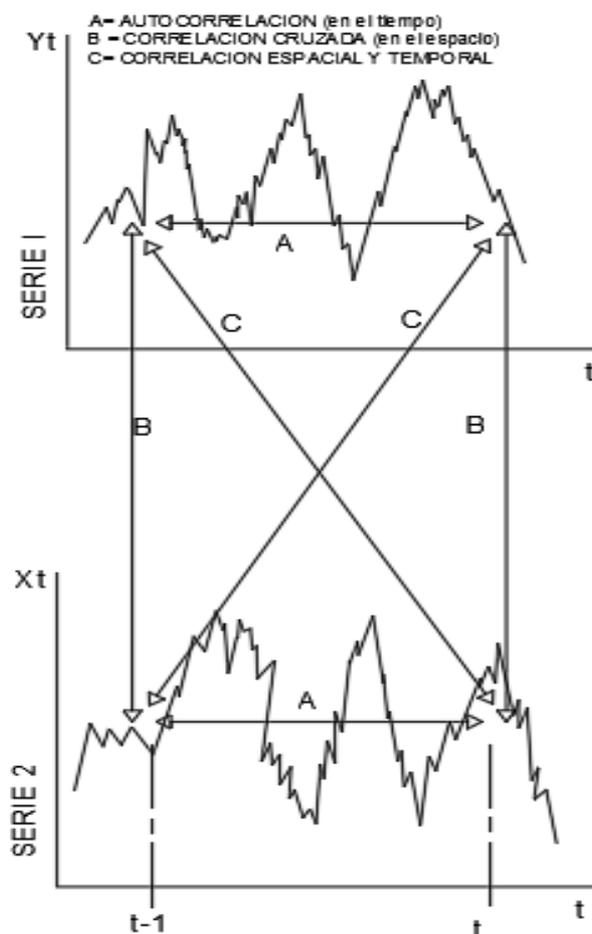


FIGURA N° 3.6 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

1º Sea la serie de datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos Y_t registrados en la estación Y, y sea la serie de datos X_t registrados en la estación X.

2º Cuando se establece una relación entre los datos de la serie Y_t solamente, con desfases en el tiempo; o también con los valores de la serie X_t solamente, se forman diferentes secuencias de series con el mismo registro desfasados en k unidades de tiempo: (X_t, X_{t-k}) ; esto es:

$$Y_t = Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$$

$$Y_{t-1} = Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{n-1}, Y_n, \text{ cuando } k=1$$

Entonces el proceso es denominado de AUTOCORRELACION o también correlación serial con desfase en el tiempo (para las muestras), auto correlación o simplemente correlación en el tiempo. En la figura N° 4.1 esta relación se reconoce con la letra A.

En esta relación, el número de pares correlacionados es n-k. Así, por ejemplo, si k=1, entonces se tiene n-1 pares correlacionados y el coeficiente es denominado de auto correlación de primer orden, o correlación serial desfasado en una unidad.

3º Cuando se establece una relación entre los registros de Y_t , X_t sin desfase en el tiempo, entonces el proceso es denominado de CORRELACION CRUZADA, correlación en el espacio sin desfase, o simplemente correlación; esto es:

$$Y_t = Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$$

$$X_t = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

Se correlacionan los registros de diferentes estaciones, En la figura 4.1, esta relación se reconoce con la letra B.

4º Cuando se establece una relación entre los registros Y_t y X_{t-k} entonces el proceso es denominado correlación espacial y temporal, correlación cruzada con desfase, que viene a ser una combinación de las dos anteriores; esto es :

$$Y_t : Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$$

$$X_t : X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1}, X_n$$

Se tiene n-k pares correlacionados. Ejemplo, si k=1 se tiene n-1 pares correlacionados. En la figura N° 4.1 este proceso se reconoce con la letra C.

3.7.2 PROCEDIMIENTO

Un esquema general del procedimiento para realizar la completación y extensión de los datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos, se presenta en la figura N°13 en la cual se hace mención a tres formas, las que en orden de prioridad son:

1. Correlación cruzada
2. Auto correlación
3. Criterios prácticos y técnicos

En primer lugar, se tiene que justificar físicamente la relación funcional entre las series, para no realizar cálculos vanos, probando con todas las series disponibles, cuál de ellas tiene mayor relación de acuerdo a su similitud en cuanto a sus características. Si existe una buena relación, entonces aplicar un proceso de correlación y regresión para la completación y/o extensión respectiva; pero si no existe tal relación funcional, entonces realizar un proceso de auto correlación; y en caso de no ser una serie de auto correlacionada, realizar el proceso utilizando criterios prácticos y técnicos.

Si se selecciona el proceso de correlación cruzada, es necesario definir el tipo de información con la que se va a trabajar, anuales o no anuales (periódicos) de acuerdo al intervalo de tiempo de discretización de la serie, para luego definir si los mismos son dependientes o independientes, lo que va a permitir realizar el proceso de complementación y/o extensión en una forma más realista y confiable.

ESQUEMA GENERAL PARA LA COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS

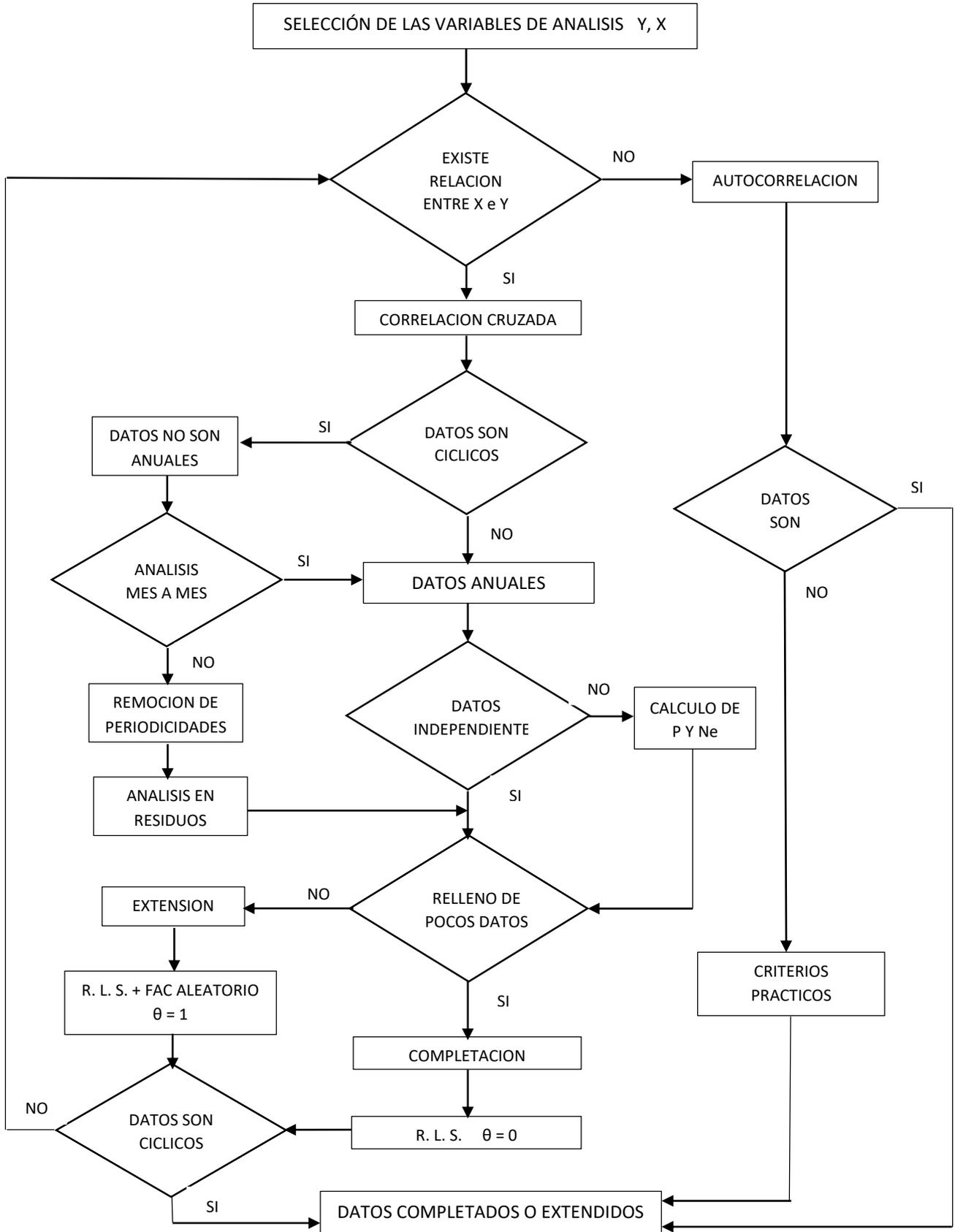


FIGURA Nº 3.7 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.7.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN

Matemáticamente se hace el análisis conjunto de regresión y correlación por la relación funcional existente entre sus parámetros, pero las suposiciones varían sustancialmente. Así, en el análisis de regresión es necesario definir a la variable Y como dependiente y a la variable X como independiente, considerando los valores de X como fijos; y en el análisis de correlación no se definen variables dependientes o independientes, siendo la variable X tratada igual que Y.

3.7.3.1 DEFINICIONES

El análisis de correlación es definido como la asociación de dos o más variables aleatorias que solo explican una parte de la variación total de una variable, por la variación de otra v.a involucrada en la ecuación de asociación. Los efectos de las v.a. no involucradas en la asociación y los errores, son responsables de la parte no explicada de la variación.

El coeficiente de correlación es el que mide el grado de asociación existente entre las variables consideradas en el modelo.

Para determinar el grado explicativo de X sobre Y, se utiliza el coeficiente de determinación.

El coeficiente de determinación es la proporción o porcentaje de la variación total de la variable dependiente Y, que es explicado por la variable independiente X. Es un criterio para explicar la importancia de la variable independiente dentro del modelo.

El análisis de regresión es una técnica estadística que permite determinar cuál es la naturaleza de la relación funcional de las variables, y permite predecir valores de Y en función de X con un margen de error determinado. Al modelo matemático-determinístico que expresa la relación entre ambas variables, se le denomina función de regresión.

3.7.3.2 VARIABLES CORRELACIONADOS

Según Yevjevich (1972), existen cuatro categorías de v.a. de los datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos que se deben considerar en el análisis de correlación y regresión bivariada o múltiple:

- a. Variables independientes normales
- b. Variables independientes no normales (sesgadas)
- c. Variables dependientes normales

d. Variables dependientes no normales

El caso más simple es cuando se dispone de variables independientes normales que en la mayoría de los problemas se asumen estas condiciones por simplicidad de trabajo, siendo necesario realizar cinco pasos para la completación y/o extensión, los cuales son:

1º Seleccionar la función de relación correlativa simple o múltiple, de tipo lineal o no lineal.

2º Estimación de los parámetros (estadísticos) que midan el grado de asociación correlativa.

3º Prueba de significación de los estadísticos que miden la asociación correlativa.

4º Estimación de los parámetros de la ecuación de regresión

5º Prueba de significación de los parámetros de regresión o extracción de los límites de confianza.

Existen dos tipos de asociaciones correlativas en los datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos:

a. Relaciones basadas en causa y efecto, como parque automotor y contaminación.

b. Relaciones de la misma causa como parque automotor vs parque automotor o del mismo efecto como contaminación vs contaminación.

Es determinante establecer bien las relaciones entre las variables correlacionadas, las mismas que deben pertenecer a lugares de monitoreo de similar comportamiento atmosférico contaminado, para que no se mal interprete la relación existente proporcionando lo que se denomina una falsa correlación.

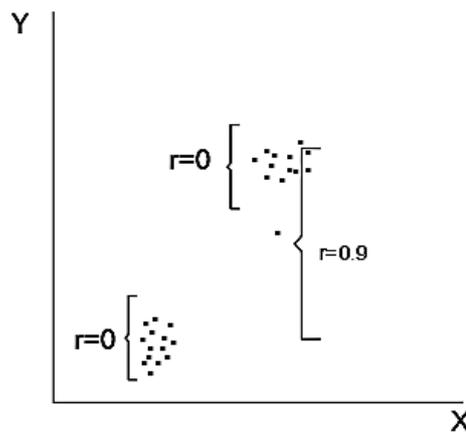
3.7.3.3 CORRELACION SPURIA

Según Haan (1977). Correlación Spuria es cualquier correlación aparente entre variables de efecto no correlacionadas. Así, por ejemplo, si se relacionan las estaciones A y B que pueden estar muy lejos una de otra de tal manera que no pueda haber correlación, o que se relacione los meses de verano con los meses de invierno en que tampoco hay correlación (hablando estrictamente), pero que debido a la presencia de un punto "p" cualesquiera, se obtiene un coeficiente de correlación alto (por decir igual a 0.90), lo cual resultaría engañoso desde el punto de vista físico. A este fenómeno se le denomina correlación Spuria o falsa correlación.

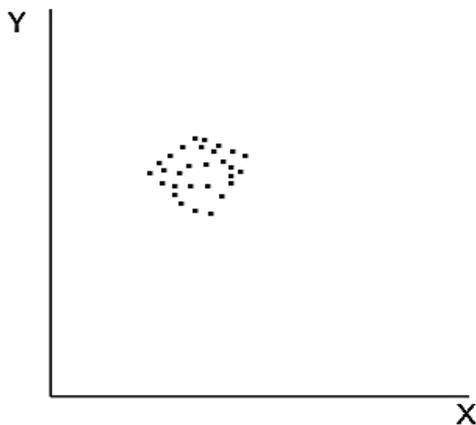
En la figura N° 3.1.3.1 se presenta algunos casos de falsa correlación, ya que físicamente no hay tal asociación. En la figura N° 3.1.3.1-A la correlación de Y con X en cada uno de los datos agrupados es casi cero, pero considerando en su conjunto el coeficiente puede ser mayor que 0.90; vale decir, una falsa correlación.

La figura N° 3.1.3.1-B muestra un ploteo de las variables Y_i vs X_i . El coeficiente de correlación puede ser cero para una muestra lo suficientemente larga; si en ambas variables son divididas por una tercera variable aleatoria cualesquiera Z_i , y se calcula la correlación entre Y_i/Z_i y X_i/Z_i , entonces el coeficiente de correlación puede ser 0.50. La figura N° 3.1.3.1-C es un ploteo de estas variables transformadas e indica que X_i explica un porcentaje de Y_i cuando en realidad no son correlacionadas; entonces la correlación entre Y_i/Z_i y X_i/Z_i es denominada Spuria o falsa correlación.

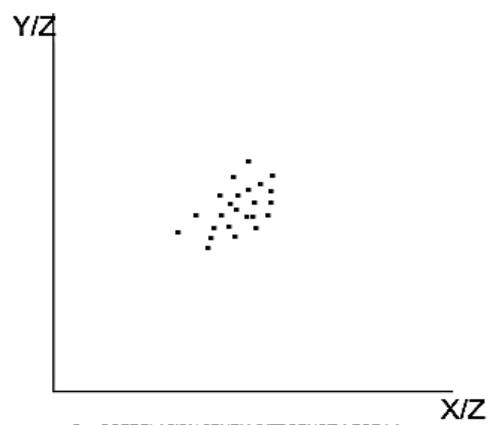
EJEMPLOS DE CORRELACION SPURIA



A. CORRELACION SPURIA DE DATOS AGRUPADOS DE DIF. COMPORTAMIENTO



B.- AUSENCIA DE CORRELACION ENTRE 2 VARIABLES



C.- CORRELACION SPURIA INTRODUCIDA POR LA DIVISION DE LAS VARIABLES X,Y POR UNA TERCERA Z

FIGURA N° 3.8 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

3.7.3.4 ECUACION DE REGRESION LINEAL SIMPLE

La ecuación de RLS es lineal porque genera una línea y es simple porque intervienen solamente dos variables.

La representación matemática es:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i \dots \quad \text{Modelo matemático} \quad (35)$$

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + E_i \dots \quad \text{Modelo estadístico} \quad (36)$$

donde:

Y_i es la variable aleatoria dependiente

X_i es la variable aleatoria independiente

α , β son los parámetros de la ecuación de regresión

α es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje Y

β es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión, el mismo que explica cuán rápido aumenta o disminuye la variable dependiente Y con un cambio X.

E_i es el residuo que queda de la variable Y que no ha sido considerado en X. Existe debido a que las muestras son al azar y debido a los efectos de otras variables.

Para el proceso de inferencia sea válido, es necesario que las variables cumplan ciertas condiciones a las que se determina suposiciones y son: (1) Que el modelo propuesto sea el adecuado, (2) Para cada valor de X, se genera una distribución de los valores de Y, los cuales son normales; (3) Los errores se distribuyen normal e independientemente con media cero y varianza σ^2 ; (4) Existe homogeneidad de variancias; (5) las muestras son el azar, y (6) los valores de X son fijos medidos sin error.

A. ESTIMACIÓN DE PARAMETROS

Si sólo se desea estimar la línea de regresión para predecir valores de Y, entonces solo es necesario que cumpla la primera suposición; el resto son necesarias cuando se realiza un proceso de inferencia o prueba de hipótesis.

El método utilizado para estimar los parámetros de la ecuación de regresión es el de mínimos cuadrados, que consiste como su nombre lo indica en minimizar la suma de cuadrados del error.

De la ecuación (36), despejando el error, elevado al cuadrado y sumando, se tiene:

$$\sum_{i=1}^n E_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2 \quad (3.37)$$

Siendo n la longitud de la muestra de interés.

En la ecuación (37) se trata de asegurar que la suma de los cuadrados del error sea mínima, lo cual se consigue derivando parcialmente la ecuación con respecto a cada uno de los parámetros, esto es:

Sea $\sum_{i=1}^n E_i^2 = SCE$, entonces

$$\frac{\partial(SCE)}{\partial(a)} = 2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2 (-1) \quad (3.38)$$

$$\frac{\partial(SCE)}{\partial(b)} = 2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2 (-X)$$

Despejando términos e igualando a cero las ecuaciones (3.38), se obtiene las ecuaciones normales que son:

$$\sum Y_i = n \cdot a + b \sum X_i \quad (3.39)$$

$$\sum Y_i \cdot X_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2$$

Desarrollando las ecuaciones normales (3.39) se obtienen los valores estimados de la ecuación de regresión que son:

$$a = \frac{\sum Y_i - b \sum X_i}{n} \quad (3.40)$$

$$b = \frac{\sum Y_i \cdot X_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} = \frac{SPXY}{SCX}$$

Dónde:

SPXY: representa la suma de productos de X por Y

SCX: representa la suma de cuadrados de X

El valor de "a" se reduce a la expresión:

$$a = \quad (3.41)$$

\bar{Y} - Donde

\bar{Y} es $b \cdot \bar{X}$ el promedio de la variable Y

\bar{X} es el promedio de la variable X

$$b = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (3.42)$$

B. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL GRADO DE ASOCIACIÓN

Para probar el grado de asociación de las variables Y, X, se hace uso del coeficiente de correlación.

Si se sabe que:

$$SCT = SCR + SCr \quad (3.43)$$

Dónde:

SCT suma de cuadrados total

SCR suma de cuadrados de la regresión

SCr suma de cuadrados de los residuos

Entonces, dividiendo toda la ecuación por el primer término:

$$1 = SCR/SCT + SCr/SCT \quad (3.44)$$

Dónde:

$$r^2 = SCR/SCT \quad (3.45)$$

r^2 es el coeficiente de determinación

$$SCT = \sum(Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SCR = b^2 \sum(X_i - \bar{X})^2$$

Concluyéndose que:

$$r = b \left\{ \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \right\}^{1/2} \quad (3.46)$$

$$r = b \frac{S_x}{S_y}$$

Dónde: r es el coeficiente de correlación entre Y, X

S_x es la desviación estandar de X

S_y es la desviación estandar de Y

Con las definiciones anteriores, se establece la prueba de hipótesis de la siguiente manera:

1º Hp: $\rho = 0$ (ρ es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varia de -1 a +1)

Ha: $\rho \neq 0$

$\alpha = 0.005$

2º Cálculo del estadístico de la prueba

De la ecuación (45) se tiene que:

$$SCR = r^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2, \quad \text{y por diferencia} \quad (3.47)$$

$$SCr = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 - r^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SCr = (1 - r^2) \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

Calculo de los cuadrados medios que resultan de dividir la SC entre los grados de libertad.

$$CMR = r^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2 / 1 \quad (3.48)$$

$$CMr = (1 - r^2) \sum (Y_i - \bar{Y})^2 / (n-2)$$

Entonces se tiene que:

$$\frac{CMR}{CMr} = \frac{r^2(n-2)}{1-r^2} \sim (F/B)^2 = 0$$

$$(3.49) \quad \frac{r(n-2)^{1/2}}{(1-r^2)^{1/2}} \sim (T/\rho) = 0$$

Con la ecuación (49) se determina el valor de T calculado

Calculo del T tabular o teórico con α y n-2 grados de libertad.

3º Criterios de decisión

Si $|T_c| \leq T_t$ entonces, se acepta la hipótesis planteada, vale decir

$$\rho = \text{cero}$$

Si $|T_c| > T_t$ entonces, el coeficiente de correlación es significativo al 95% de probabilidades, siendo factible en este caso utilizar la ecuación de regresión para los objetivos deseados.

También se puede realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión.

3.7.3.5 ECUACIÓN DE REGRESION LINEAL MULTIPLE

La ecuación RLM se escribe en forma general como:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (3.50)$$

$$Y_i = B_0 X_{0i} + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + \dots + B_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

Donde:

Y_i es la variable aleatoria independiente

$X_{j,i}$ son las variables aleatorias independiente

B_i son los coeficientes de regresión parcial y explican la variación que experimenta la variable Y_i por cambio en una unidad de X_i , manteniendo constante las otras variables.

X_0 es una variable auxiliar igual a uno

$j = 1, 2, \dots, k$ con k igual al número de variables independientes

$i = 1, 2, \dots, n$ con n igual al tamaño muestral

ε_i son los residuos debido a efectos aleatorios y efecto de otras variables.

La ecuación (50) se puede simplificar como:

$$Y_i = \sum_{j=0}^k B_j X_{ji}$$

Las suposiciones son las mismas que para la ecuación de RLS adaptándolas a varias variables X_j .

A. Estimación de Parámetros

Para estimar los parámetros de la ecuación RLM también se utiliza el procedimiento de mínimos cuadrados, igual que en la ecuación de RLS.

Así por ejemplo, considerando solamente dos variables ($k=2$) en la ecuación (50), se tiene:

$$Y_i = B_0 X_{0i} + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + \varepsilon_i \quad (3.51)$$

Si se tiene que:

$$B_0 = b_0 \quad B_1 = b_1 \quad B_2 = b_2$$

Entonces:

$$Y_i = b_0 X_{0i} + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \varepsilon_i \quad (3.52)$$

Despejando ε_i en la ecuación (52), elevando al cuadrado y sumando los términos, se tiene:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - b_0 X_{0i} - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}]^2 \quad (3.53)$$

En la ecuación (3.53) derivando parcialmente con respecto a cada uno de los parámetros e igualando a cero; esto es:

$$\frac{\partial \sum \varepsilon_i^2}{\partial b_0} = 0; \quad \frac{\partial \sum \varepsilon_i^2}{\partial b_1} = 0 \text{ y} \quad \frac{\partial \sum \varepsilon_i^2}{\partial b_2} = 0 \quad (3.54)$$

Se obtiene las ecuaciones normales a partir de las cuales se obtiene los valores estimados y son:

$$\begin{aligned}
 1^\circ \quad \sum Y_i &= nb_0 + b_1 \sum X_{1i} + b_2 \sum X_{2i} \\
 2^\circ \quad \sum Y_i X_{1i} &= b_0 \sum X_{1i} + b_1 \sum X_{1i}^2 + b_2 \sum X_{1i} X_{2i} \\
 3^\circ \quad \sum Y_i X_{2i} &= b_0 \sum X_{2i} + b_1 \sum X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum X_{2i}^2
 \end{aligned}
 \tag{3.55}$$

Despejando términos y resolviendo el sistema de 3 ecuaciones, se obtienen los valores para los tres estimados correspondientes como:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \\
 b_1 &= \frac{(\sum x_1 y \sum x_2^2) - (\sum y x_2)(\sum x_1 x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)} \\
 &\tag{3.56}
 \end{aligned}$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_2 y)(\sum x_1^2) - (\sum y x_1)(\sum x_1 x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)}$$

Donde:

$x_j = X_j - \bar{X}$ son las desviaciones con respecto a la media de X

$y_i = Y_i - \bar{Y}$ son las desviaciones con respecto a la media de Y

Este mismo procedimiento se aplica para k variables independientes.

B. Medida de la correlación múltiple

La relación existente entre las variables en un análisis de RLM puede ser medida por 5 parámetros:

1º Por la desviación estandar de los residuos; vale decir por las diferencias entre los valores observados y los valores y los valores estimados.

2º Por el coeficiente de correlación múltiple, el cual mide la asociación lineal de las variables estimadas y observadas. Se define como la razón de la desviación estandar de los valores estimados a la desviación estandar de los valores observados.

3º Por el coeficiente de determinación múltiple que viene a ser el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple e indica la parte de la variancia de la variable dependiente que ha sido explicada matemáticamente.

4º Por los coeficientes de correlación parciales, los cuales miden la asociación de la variable dependiente con cualquier variable independiente dada.

5° Por el coeficiente beta (β), el cual mide el efecto de las variables independientes individuales sobre la variable dependiente, siempre y cuando las variables independientes no estén intercorrelacionadas.

La ecuación que estima el coeficiente de correlación múltiple, considerando el modelo de la ecuación (3.51) es:

$$R = \left[\frac{r_{y1}^2 + r_{y2}^2 - 2r_{y1}r_{y2}r_{12}}{1 - r_{12}^2} \right]^{1/2} \quad (3.57)$$

Donde:

R = coeficiente de correlación múltiple

r_{y1} coeficiente de correlación total entre Y y X_1

r_{y2} coeficiente de correlación total entre Y y X_2

r_{12} coeficiente de correlación total entre X_1 y X_2

3.7.4 ANALISIS DE AUTOCORRELACION

Según Aliaga (1982) la función de auto correlación es definida como la expresión matemática que describe analíticamente a las secuencias de valores continuos (en el sentido matemático) o de valores discretos y es usado para determinar la dependencia entre los valores sucesivos de una serie.

Matemáticamente, el coeficiente de auto correlación es definido como la razón de la covarianza poblacional a la raíz cuadrada del producto de las dos variancias poblacionales, y mide el grado de dependencias de la serie analizada:

$$\rho_k = \frac{COV[X_i, X_{i+k}]}{[VAR(X_i) VAR(X_{i+k})]^{1/2}} \quad (3.58)$$

ρ_k es el coeficiente de auto correlación poblacional

COV = covariancia

VAR = variancia

$i = 1, 2, \dots, n$ con n el tamaño muestral

k = es el retardo o desfasaje respectivo

K es estimado por el coeficiente de correlación serial r_k , cuyo valor varía entre menos y más uno, igual que el coeficiente de correlación cruzada.

Para estimar el coeficiente de autorrelación desde las muestras disponibles, existen dos formas: Yevjevich (1976).

- Por series circulares
- Por series directas

En aplicaciones prácticas los valores de ρ_k son estimadas por una aproximación de las series directas, según la ecuación:

$$r_k = \frac{\frac{1}{c} \sum X_i X_{i+k} - \frac{1}{c^2} \sum X_i \sum X_{i+k}}{[\frac{1}{c} \sum X_i^2 - \frac{1}{c^2} (\sum X_i)^2]^{\frac{1}{2}} [\frac{1}{c} \sum X_{i+k}^2 - \frac{1}{c^2} (\sum X_{i+k})^2]^{\frac{1}{2}}}$$

(3.59)

Donde i varia en la sumatoria desde 1 hasta N- k

C= N-k

K es el número de desfasajes considerados

N la longitud total de la muestra

$r_k = E [\rho_k]$

La ecuación (3.59) da un sesgado pero eficiente estimado de ρ_k con la variancia de r_k aumentando con el número de k.

También se puede escribir en forma simplificada como:

$$r_k = \frac{\overline{X_i X_{i+k}} - \bar{X}_i \bar{X}_{i+k}}{S_{X_i} \cdot S_{X_{i+k}}} \quad (3.60)$$

Donde:

\bar{X}_i, \bar{X}_{i+k} son los promedios de las series sin desfasar y desfasada, respectivamente

$S_{X_i}, S_{X_{i+k}}$ son las desviaciones estandar de las mismas

$\overline{X_i \cdot X_{i+k}}$ es el promedio del producto de las series en consideración.

Los desfasajes de la serie consisten en desplazar la misma serie en el tiempo para crear otra serie ficticia, siendo el más utilizado en completación y/o extensión el desfasaje de primer orden, vale decir cuando k es igual a uno.

Sea la serie X_i y X_{i+1} :

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_N \quad (3.61)$$

$X_2, X_3, X_4, \dots, X_{N-1}$ N-1 valores auto correlacionados

Los pares auto correlacionados para obtener r_1 son N-1 valores; si k=2, entonces los pares serán N-2 valores y así sucesivamente.

Para utilizar el procedimiento de auto correlación en completación y/o extensión de datos, se procede igual que en correlación cruzada, estimando los parámetros de la ecuación de regresión con los pares auto correlacionados, y si la serie es dependiente en sus valores sucesivos, entonces el valor de r va a ser suficiente como para explicar la variación de la serie original.

En muchos problemas de información de datos estadísticos de contaminantes atmosféricos y por facilidad de análisis, se utiliza la experiencia del especialista para completar los datos faltantes, utilizando ciertos criterios, que en forma general pueden ser:

1º Tipificar el comportamiento atmosférico respecto a los contaminantes de los años en que faltasen los datos.

2º Tener en cuenta el periodo de ubicación del dato faltante, si la información es no anual.

3º Completar con el promedio de los años o meses tipificados.

4º En otros casos es recomendable completar con el promedio del año posterior y anterior al dato o también del mes anterior y posterior faltante, si la información es anual o mensual, respectivamente.

5º Si la información es mensual, se determinará el promedio de los años típicos y se completará con este.

6º Estos criterios pueden ser válidos solo en el caso de completación de algunos datos faltantes, no es así en el caso de extensión de periodos más largos.

3.7.5 PROCESO DE COMPLETACION DE DATOS R.L.S.

Como se mencionó anteriormente, completar significa llenar los huecos vacíos en la información estadística de contaminantes atmosféricos existente.

Para realizar el proceso de completación de datos de una estación en base a otra, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

1º Buscar o seleccionar las estaciones que guarden buena relación con la estación base que se quiere completar.

2º En los análisis respectivos no se deberá juntar datos de épocas secas con datos de épocas húmedas, sino que realizar el proceso separadamente.

3º Si se disponen de pocos datos regresibles, entonces completar el dato faltante con un coeficiente de correlación alto.

4º Cerciorarse o verificar que las características de una estación completa y de otra estación a completar sean similares en su comportamiento de información estadística de contaminantes atmosféricos. Cuanto más similares sean estas los datos de información estadística de contaminantes atmosféricos, es más probable

que la correlación resulte más significativa. En general las correlaciones entre estaciones cercanas son relativamente buenas.

5º Verificar que datos de información estadística de contaminantes atmosféricos registrados en las estaciones sean efectos de las mismas causas (emisión de gases contaminantes de los motores de combustión interna).

6º Para realizar la completación de datos, de ser posible probar la normalidad de las series, y si no lo son, transformarlos a normales.

En la mayoría de los casos esta condición es asumida como un hecho.

Con las seis consideraciones mencionadas, el proceso de completación se realiza teniendo en cuenta el intervalo de tiempo de discretización de los datos, vale decir:

Completación de datos anuales

Completación de datos no anuales

3.7.5.1 COMPLETACION DE DATOS ANUALES

Los datos anuales se caracterizan por presentar sus parámetros constantes y pueden ser dependientes o independientes en el tiempo cronológico; a diferencia de los datos no anuales (mensuales, semanales o diarios) que tienen sus parámetros periódicos (media y desviación estandar básicamente) y por lo general son dependientes en el tiempo. La diferencia en cuanto se refiere a los componentes periódicos y no periódicos para datos no anuales y anuales, respectivamente, se presenta en la fig. Nº 3.2.1.1; en la misma se realiza una separación grafica de sus principales momentos: la media (m_τ o \bar{x}) y la derivación estandar (S_τ o S), respectivamente.

Asimismo, casi todas las series anuales son dependientes. Si los datos de dos series están fuertemente auto correlacionados (dependientes), entonces las pruebas estadísticas aplicadas para determinar el grado de asociación, no son muy contundentes.

Por lo que, en el análisis de completación de datos anuales, se presentan 2 casos:

- Series independientes en el tiempo
- Series dependientes

**DIFERENCIAS EXISTENTES ENTRE LOS DATOS DE UNA SERIE ANUAL Y UNA NO ANUAL –
SEPARACION DE SUS COMPONENTES**

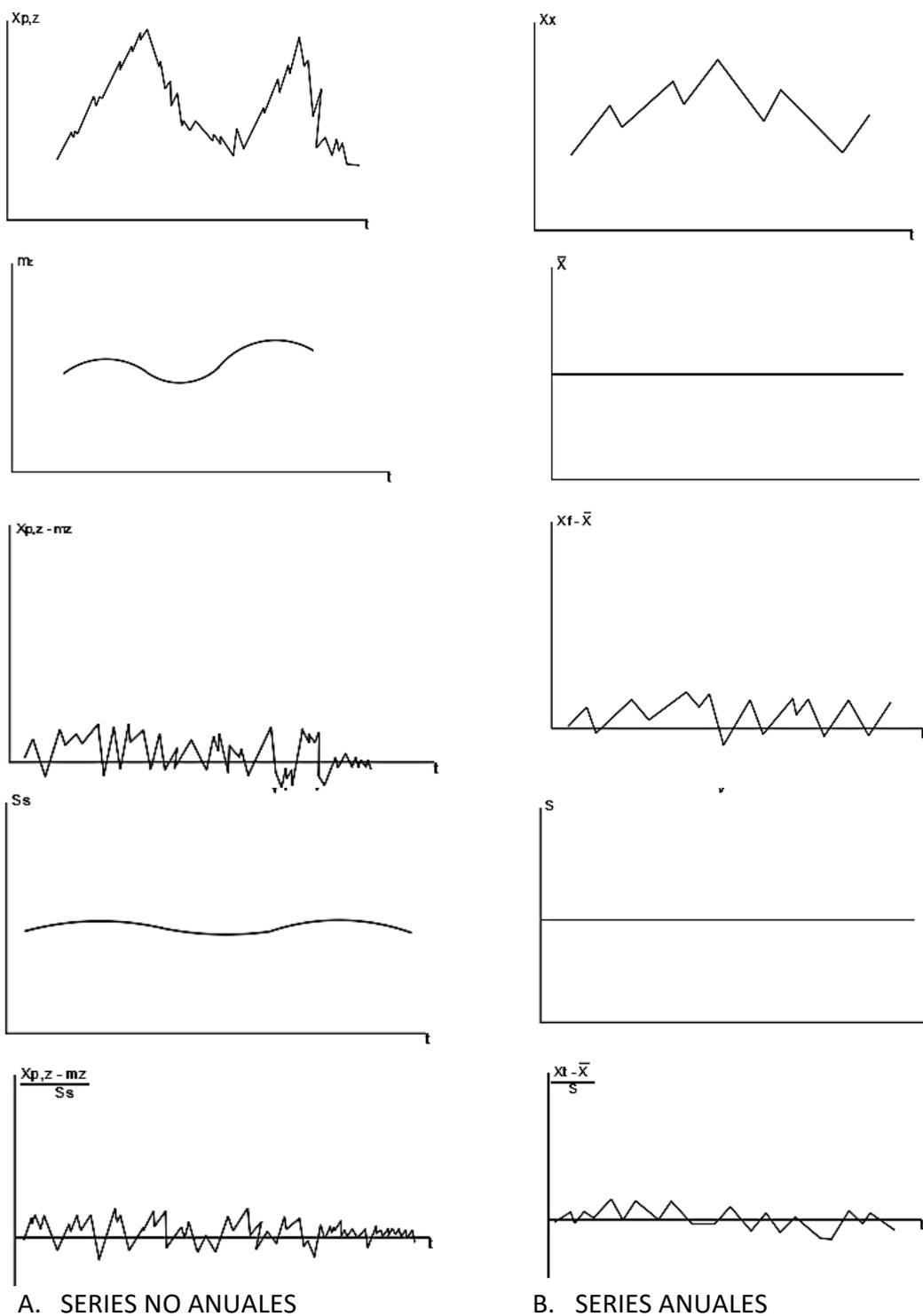


FIGURA Nº 3.9

FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

A. DATOS INDEPENDIENTES

El caso más simplificado es cuando se dispone de dos series correlacionadas que además de ser normales también son independientes.

En este caso es totalmente válida la aplicación de pruebas estadísticas (T.Student, entre otros), para determinar la significación del coeficiente de correlación.

EL procedimiento de completación de datos anuales e independientes, es como se describe a continuación.

1º Selección del modelo de correlación, en este caso la ecuación de R.L.S.

2º Selección de la estación de base a la cual se va a realizar la completación.

3º Ploteo de los pares regresibles de los datos completos e incompletos, para analizar la relación existente.

4º Estimación del coeficiente de correlación entre X e Y según la ecuación (3.46), o también por su equivalente simplificado que es:

$$r = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{S_X \cdot S_Y} \quad (3.62)$$

Dónde:

r = Coeficiente de correlación entre Y y X.

\bar{X}, \bar{Y} son los promedios de las series X e Y, respectivamente.

S_X, S_Y son las desviaciones estándar de las series X e Y respectivamente.

\overline{XY} es el promedio producto de las variables X, Y, el mismo que se determina por:

$$\overline{XY} = (\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i) / n$$

Dónde: i = 1,2,... n con n igual al tamaño muestral.

5º Prueba de significación del coeficiente de correlación para lo cual se desarrollan los siguientes pasos:

- $H_0: \rho = 0$
- $H_a: \rho \neq 0$
- $\alpha = 0.05$
- Cálculo del "T" calculado según la ecuación (49) vale decir:

$$T_c = \frac{r(n-2)^{1/2}}{(1-r^2)^{1/2}}$$

- Cálculo del valor del T tabular de las tablas con:
 - $\alpha = 0.05$ y
 - $(n-2)$ grados de libertad

- Criterios de decisión que son los mismos enunciados en la prueba de hipótesis de la ecuación de R.L.S. este es, si el valor absoluto del T calculado es menor o igual que el valor del T tabular, entonces se acepta la H_p , en consecuencia, no procede la completación porque r no es significativo; pero si $|T_c| > T_t$ entonces r si es significativo al 95% de probabilidades y si procede la completación. Si r no es significativo, probar con datos de otra estación.

6º Estimación de los parámetros de la ecuación de regresión.

Los valores estimados de α y B de la ecuación de R.L.S., se estiman según las ecuaciones (41) y (42), respectivamente, o también por:

$$\begin{aligned} a &= \bar{y} - \\ & \quad b\bar{x} \\ b &= r \\ & \quad S_y/S_x \end{aligned} \quad (3.63)$$

Donde:

a, b son los parámetros estimados.

\bar{x}, \bar{y} Son los promedios de las series X e Y, respectivamente.

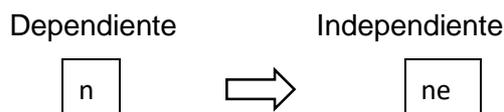
S_x, S_y son las desviaciones estándar de X e Y respectivamente.

7º Relleno de los datos faltantes del registro Y, en función de los datos correspondientes del registro X.

B. DATOS DEPENDIENTES

Cuando se quiere completar datos de series auto correlacionado, entonces las pruebas estadísticas no son valederas puesto que son aplicables solo a muestras de datos independientes (distribuciones derivadas a partir de la distribución normal).

Por lo que, para tener mayor validez de dicha prueba de hipótesis, se transforma el número de datos n, a un número equivalente no menor, que tenga el mismo paso de viabilidad como si la serie fuese independiente, esto es:



La ecuación general para determinar el tamaño equivalente, se escribe como:

$$n_e = \frac{n}{1 + 2\rho_1^x \rho_1^y + 2\rho_2^x \rho_2^y + \dots + 2\rho_k^x \rho_k^y} \quad (3.64)$$

Donde:

n_e es el valor del tamaño equivalente independiente.

n longitud muestral

ρ_k^x : es el coeficiente de auto correlación de orden k de la estación X .

ρ_k^y : es el coeficiente de auto correlación de la estación Y .

K : indica el desfase respectivo o retardo de las series, explicado anteriormente.

En el caso de datos anuales, la ecuación más utilizada para determinar el tamaño equivalente es:

$$n_e = \frac{n}{1 - \bar{\rho}(n-1)} \quad (3.65)$$

Donde:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1^x + \rho_2^y}{2}$$

cuyos términos han sido descritos anteriormente.

Para realizar la completación de datos faltantes con datos anuales dependientes, se procede en la misma forma que para los datos independientes con la diferencia sustancial en el paso 6º en que la prueba de hipótesis para determinar la significación del coeficiente de correlación se realiza con el tamaño equivalente, vale decir:

$$T = F(r^2, ne)$$

$$T = F(r^2, ne)$$

INDEPENDIENTES

DEPENDIENTES

En la práctica, puede suceder que, haciendo la corrección con el n_e , el r calculado resulte ser no significativo, aun cuando n resulta significativo. Entonces, mayor confiabilidad se tiene a la prueba con n_e .

Así por ejemplo si se tiene que $r=0.60$, $n=38$, $\bar{\rho} = 0.2$ y $\alpha = 0.05$, entonces resulta que:

$$1^\circ T_c = 4.50 \text{ y } T_r = 2.031, \text{ con } n = 38,$$

Comparando: $T_c > T_r \rightarrow$ si es significativos al 95% de probabilidades.

$$2^\circ \text{ Si } \bar{\rho} = 0.20 \rightarrow n_e=5.10 \text{ y } T_c=1.3, T_t=3.182$$

Comparando se tiene que $T_c < T_t$, esto es, r no es significativo al 95% de probabilidades. Esta conclusión es la más realista, puesto que en el primer caso se está realizando una asunción de independencia equivocada, por ello r resulta significativo.

3.7.5.2 COMPLETACIÓN DE DATOS NO ANUALES

Cuando se trata de completar datos no anuales (mensuales, semanales o diarias), el problema es más complicado porque las series además de ser dependientes, son periódicas o cíclicas, características que disminuyen enormemente la bondad de la prueba estadística.

En este caso, puede suceder que:

- Se realice el proceso de completación mes a mes, vale decir se desea completar el mes de la estación Y con el mes i de la estación X. En este caso no interviene la ciclicidad y se realiza el procedimiento como en datos anuales.
- Se complete los datos por auto correlación entre el mes i, y el mes i-1. En este caso tampoco interesa la periodicidad.
- Si se completa los datos no anuales en su totalidad o se agrupan según las estaciones o su comportamiento hidrológico, entonces si hay que remover las periodicidades temporalmente y realizar la correlación en los residuos estandarizados de las dos series, como se ilustra en la figura N°3.10.

ESTANDARIZACIÓN DE LOS REGISTROS PERIODICOS X e Y PARA LA REALIZACIÓN DE LA CORRELACIÓN

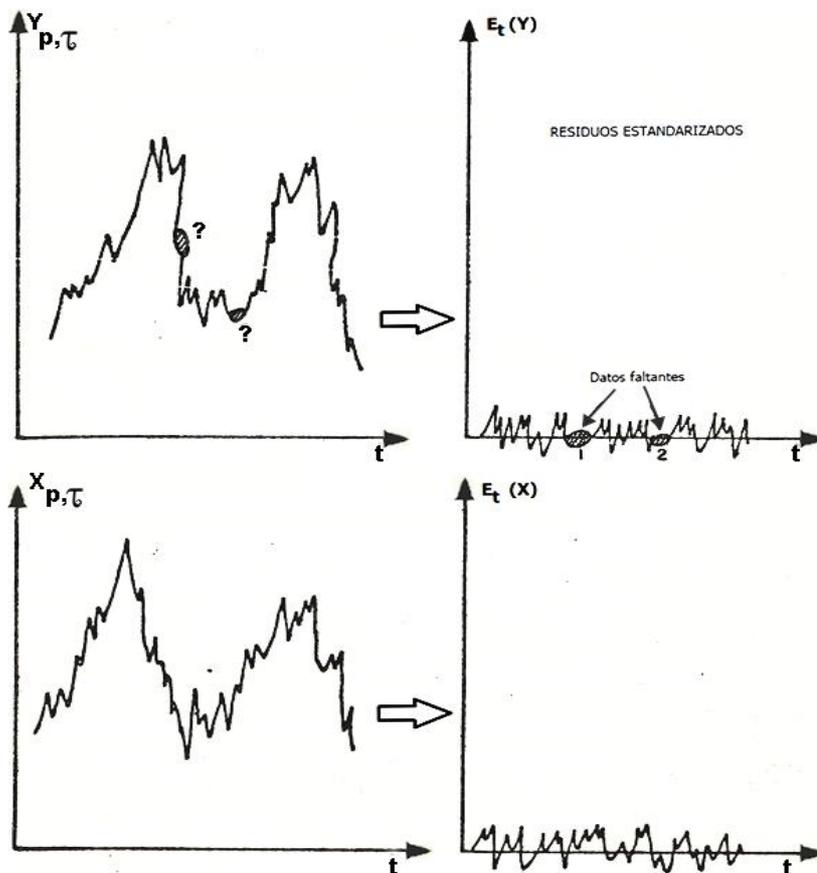


FIGURA N° 3.10 FUENTE: Tratamiento de Datos - Segundo Vito Aliaga Araujo

El procedimiento para realizar la completación con series no anuales, según el caso (c) es como se describe a continuación:

1º Realizar un análisis gráfico planteando en coordenadas cartesianas los datos de las dos estaciones respectivas.

2º Cálculo de las periodicidades en la media y desviación estándar

En la serie completa e incompleta que se va a correlacionar.

Esto es:

$$M_{\tau}(x) = \frac{[\sum_{p=1}^n x_{p,\tau}]}{n}; S_{\tau}(x) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{p=i}^n (X_{p,\tau} - M_{\tau}(x))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(3.66)

$$M_{\tau}(y) = \frac{[\sum_{p=1}^n y_{p,\tau}]}{n}; S_{\tau}(y) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{p=i}^n (Y_{p,\tau} - M_{\tau}(y))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$M_{\tau}(x)$, $M_{\tau}(y)$ son las medidas periódicas los datos X e Y, respectivamente.

$S_{\tau}(y)$, $S_{\tau}(x)$ son las desviaciones estándar periódicas de X e Y respectivamente.

$X_{p,\tau}$, $Y_{p,\tau}$ son los registros periódicos completo e incompleto, respectivamente.

$P=1,2,\dots,n$ con n igual al número de años del registro.

τ Indica la variación del periodo

$\tau = 1, 2, 3, \dots, W$, con $W =$ periodo básico de análisis y puede ser $W=12.52$ o 365 si el análisis es mensual, semanal o diario, respectivamente.

3º Remoción temporal de las periodicidades a partir de registros históricos de las series X e Y, esto es:

$$E_{p,\tau}(Y) = \frac{Y_{p,\tau} - M_{\tau}(Y)}{S_{\tau}(Y)} \tag{3.67}$$

$$E_{p,\tau}(X) = \frac{X_{p,\tau} - M_{\tau}(X)}{S_{\tau}(X)}$$

Donde:

$E_{p,\tau}(Y)$, $E_{p,\tau}(X)$ Son los residuos estandarizados de las series Y, X respectivamente, vale decir, sin periodicidades en la media ni en la desviación estándar, como se muestra en la fig. N° 3.10

Los residuos de X e Y se pueden presentar por $E(x)$, $E(y)$ respectivamente por simplicidad de notación.

Los demás términos han sido descritos por la ecuación (3.66).

4° Realizar el proceso de correlación y regresión en los residuos obtenidos según la ecuación (3.67), ejecutando los mismos pasos para la completación de datos anuales, esto es:

- Sea el modelo seleccionado

$$E(Y) = A + B \cdot E(X) \quad (3.68)$$

- Cálculo del coeficiente de correlación entre los residuos $E(Y)$ y $E(X)$, según la ecuación (3.62)

- Realización de la prueba de significación de r según la estadística "T", conforme se ha descrito anteriormente.

Si r resulta significativo, entonces realizar la completación respectiva; pero si no es significativo, entonces probar con otro registro de datos.

- Cálculo de los parámetros de regresión según:

$$A = \overline{E(Y)} - B * \overline{E(X)} \quad (3.69)$$

$$B = r \frac{S_{ey}}{S_{ex}}$$

Donde

$\overline{E(Y)}$, $\overline{E(X)}$ son los promedios de los residuos de Y , X respectivamente.

S_{ey} , S_{ex} son las desviaciones estándar de Y , X respectivamente.

- Cálculo del residuo del dato faltante según la ecuación con sus parámetros estimados:

$$\widehat{E(Y)} = \hat{A} + \hat{B}E(X) \quad (3.70)$$

- Completar los datos de la serie incompleta según la siguiente ecuación:

$$Y_{p,\tau} = M_{\tau}(y) + S_{\tau}(y) * \hat{E}_{p,\tau}(y) \quad (3.71)$$

cuyos términos han sido descritos anteriormente.

- También en este caso en que los datos son dependientes por lo general, corregir el n independiente con el N_e que tenga el mismo peso de variabilidad de la serie independiente.

3.8 PROCESO DE EXTENSION DE DATOS

Extender un registro histórico significa aumentar los datos un periodo considerable, antes del primer dato o después del último dato. Muchas veces también se tiene que extender un periodo intermedio.

La extensión es importante por cuanto hace variar los estimados de los parámetros, esto es: si el procedimiento es adecuado, entonces se mejoran los estimados, pero si el procedimiento no es el adecuado, entonces se puede empeorar los estimados.

La media y la varianza representan los principales parámetros de la distribución de probabilidades de los valores medios anuales o no anuales. Los valores poblacionales de estos parámetros, en la práctica no son conocidos, tal que necesitan ser estimados desde los datos históricos muestrales.

Cuando los estimados de los datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos están basados en registros cortos, el error muestral puede ser reducido transfiriendo la información desde estaciones cercanas con registros largos, sin embargo, la extensión de una secuencia corta no siempre puede dar resultados satisfactorios.

Es necesario que la secuencia extendida proporcione mejores estimados de los parámetros que la secuencia corta. Que se cumpla o no esta condición, depende bastante del grado de asociación entre los registros históricos correlacionados.

El procedimiento de extensión de registros cortos en base a registros largos presentados en este capítulo puede ser usado en general:

- Para el mejoramiento de los estimados de los parámetros de los datos medios anuales y no anuales
- Para extender los valores observados de un registro corto.
- Para completar las observaciones de registros incompletos y faltantes.

La técnica de análisis de regresión para la extensión de información desde estaciones cercanas con registros largos a una estación con registros cortos, y el criterio correspondiente para el mejoramiento de los estimados de los parámetros correspondientes son presentados en este capítulo, cuyos conceptos han sido publicados por Salas La Cruz (1978)

3.8.1 REGRESION LINEAL SIMPLE

La ecuación de R.L.S. es el modelo más comúnmente usado para las extensiones de los datos estadísticos de la evaluación de los contaminantes atmosféricos entre dos estaciones de medición.

A. MODELO MATEMÁTICO

Considerar una secuencia larga y otra corta de un par de variables contaminantes atmosféricas representadas por X e Y. En general, las dos variables no tienen que ser

el mismo tipo; esto es, si una variable contaminante es de mayor concentración, la otra puede representar una variable contaminante de menor concentración en la atmosfera.

Asumir que N_1 es la longitud de la secuencia corta y N_1+N_2 es la longitud de la secuencia larga. La longitud N también denota el periodo común de las dos variables.

Entonces, las secuencias Y, X están representadas por:

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_{N_1}$$

$$X_1, X_2, \dots, X_{N_1}, X_{N_1+1}, \dots, X_{N_1+N_2}$$

El modelo de R.L.S. entre X e Y está representado por la ecuación (35) y los estimados de sus parámetros correspondientes por la ecuación (63) del capítulo anterior

Reemplazando los parámetros estimados en la ecuación general se tiene:

$$Y_t = \bar{Y}_1 - b \cdot \bar{X}_1 + b \cdot X_t = Y_1 + b(X_t - \bar{X}_1) \quad (3.72)$$

$$Y_t = \bar{Y}_1 + r \frac{S_1(Y)}{S_1(X)} (X_t - \bar{X}_1)$$

Donde:

\bar{Y}_1, \bar{X}_1 , son las medias estimadas del periodo común de Y, X respectivamente (con N_1 valores)

$S_1(X), S_1(Y)$, son los estimados insesgados de la desviación estándar de X e Y , respectivamente.

Considerando la ecuación (3.72), la secuencia corta es extendida; esto es, los valores

$\hat{Y}_{N_1+1}, \dots, \hat{Y}_{N_1+N_2}$, son estimados basados en los valores comunes

$\hat{X}_{N_1+1}, \dots, \hat{X}_{N_1+N_2}$ por lo que, la nueva media y variancia de la secuencia extendida

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{N_1}, \hat{Y}_{N_1+1}, \dots, \hat{Y}_{N_1+N_2}$, son

(Fiering, 1963 Matales y Jacob, 1964)

$$\bar{Y} = \frac{N_1 \bar{Y}_1 + N_2 \bar{Y}_2}{N_1 + N_2} = Y_1 + \frac{N_2}{N_1 + N_2} - b(X_2 - \bar{X}_1) \quad (3.73)$$

$$S^2(Y) = \left[\frac{1}{N_1 + N_2 - 1} \right] [(N_1 - 1)S_1^2(Y) + (N_2 - 1)b^2 S_2^2(X) + \frac{N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2} b^2 (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)^2]^2$$

Usando la ecuación (3.72) para la extensión de la secuencia corta Y , un sesgo descendente surge en la variancia de Y de la ecuación (3.74), como es mostrado por Matalas y Jacobs (1964). Esto es porque el modelo de regresión de la ecuación (3.72) no explica toda la variancia del registro corto Y , solo una porción r^2 de la variancia es explicado.

Este sesgo puede ser removido introduciendo una variancia extra igual a $(1 - r^2)S_1^2(Y)$.

Entonces el modelo de R.L.S. toma la forma:

$$Y_t = \bar{Y}_1 + r \frac{S_1(Y)}{S_1(X)} (X_t - \bar{X}_1) + \alpha\theta(1 - r^2)S_1(Y)\varepsilon_{t1} \quad (3.75)$$

Donde:

α Es usado para remover el sesgo en el estimado de la variancia de Y y está dado por:

$$\alpha^2 = \frac{N_2(N_1-4)(N_1-1)}{(N_2-1)(N_1-2)(N_1-3)} \quad (76)$$

$\theta = 1$ cuando la variable aleatoria es considerada, y

$\theta = 0$ cuando la variable aleatoria no es considerada. En este caso la ecuación (75) es igual a la ecuación (3.72).

ε_t = Variable aleatoria normal e independiente con media cero y variancia unitaria.

Para el modelo de la ecuación (3.75), la media y la variancia de la secuencia extendida son:

$$\bar{Y} = Y_1 + \frac{N_2}{N_1+N_2} b(\bar{X}_2 - \bar{X}_1) \quad (3.77)$$

$$S^2(Y) = \left[\frac{1}{N_1 + N_2 - 1} \right] [(N_1 - 1)S_1^2(Y) + (N_2 - 1)b^2S_2^2(X) + \frac{N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2} b^2(\bar{X}_2 - \bar{X}_1)^2 + (N_2 - 1)\theta \alpha^2(1 - r^2)S_1^2(Y)]$$

Cuyos términos han sido descritos anteriormente.

B. CRITERIO PARA MEJORAR LOS ESTIMADOS DE LOS PARAMETROS

Usando el análisis de correlación para extender el registro corto Y de una estación basado en un registro largo X de otra estación, surge una pregunta si la adición de N_2 valores mejora el estimado de los parámetros requeridos de Y.

Es posible que adicionando los N_2 valores puede dar un estimado peor (mas malo) de los parámetros de Y por lo tanto es necesario conocer algunas medidas de confiabilidad de los parámetros estimados antes y después de la extensión. Salas la C. (1978).

La Variancia de un parámetro estimado ha sido típicamente usado en el campo estadístico para medir la precisión asociada con ello, entonces la variancia de la media estimada es una medida de la precisión del estimado y similarmente con otros estimados.

Si los estimados de correlación son usados para proporcionar N_2 valores adicionales, el resultado es un record combinado de N_1 valores históricos y N_2 valores estimados.

Si la varianza de un parámetro calculado desde esta secuencia combinada excede a aquella calculada desde el record de tamaño N_1 solamente, es claro que el record combinado proporciona un estimado menos preciso del parámetro (Fiering, 1963).

Sin embargo, si la varianza es menor que la calculada de la serie histórica solamente, la técnica de correlación ha proporcionado un estimado más preciso y puede ser utilizado, vale decir:

Si $\text{VAR}(Y \text{ reconstituido}) > \text{VAR}(Y \text{ histórico}) \rightarrow$ estimado menos preciso (*)

Si $\text{VAR}(Y \text{ reconstituido}) < \text{VAR}(Y \text{ histórico}) \rightarrow$ estimado más preciso

Otra forma usada con frecuencia en la práctica, para medir la precisión de un parámetro estimado es por el concepto del contenido de INFORMACION RELATIVA.

La información relativa (I), es la razón de la varianza de aquel parámetro estimado desde el record original de N_1 valores, o $\text{VAR}(\hat{\gamma}_1)$, a aquel estimado desde el record combinado de $(N_1 + N_2)$ valores o $\text{VAR}(\hat{\gamma})$, Tal que : $I = \text{VAR}(\hat{\gamma}_1)/\text{VAR}(\hat{\gamma})$

Si $I > 1$ $\text{VAR}(\hat{\gamma}_1) > \text{VAR}(\hat{\gamma}) \rightarrow$ se gana información

Si $I < 1$ $\text{VAR}(\hat{\gamma}_1) < \text{VAR}(\hat{\gamma}) \rightarrow$ no se usa para extender porque hay pérdida de información.

La implicancia es que el estimado original es más preciso que el calculado de la serie combinada y el análisis de la correlación introduce una variación adicional o pérdida de precisión en el estimado (Fiering, 1963)

La Longitud Efectiva del record N_e de los datos combinados (registrado y estimado) con frecuencia ha sido usado (Beard 1962, Yevjevich, 1972) para chequear la efectividad de la R.L. para el mejoramiento del estimado de los parámetros de un registro corto. La longitud N_e (llamado también tamaño de la muestra equivalente) puede ser descrita como:

$$N_e = N_1 I \quad (3.78)$$

-Tal que: si $I > 1$, $N_e > N_1 \rightarrow N_g = N_e - N_1$

Donde N_g = Ganancia de información expresado en número de años de registro.

Por lo tanto

- Si $N_g > 0 \rightarrow$ R.L. mejora el estimado de γ y puede ser usado para extender el registro corto.
- Si $N_g < 0 \rightarrow$ R.L. no mejora el estimado de γ y no se puede usar para extender el registro corto.

Los tres criterios anteriores son resumidos en la tabla 3.1

TABLA 3.1

Criterios para mejorar los estimados de los parámetros por Regresión Lineal.

CRITERIO				Uso de la Regresión Lineal
VARIANCIA	Información Relativa	Longitud Efectiva de Registro.	Ganancia de Información	
$VAR(\hat{y}_1) > VAR(\hat{y})$	$I > 1$	$N_e > N_1$	$N_g > 0$	Si
$VAR(\hat{y}_1) \leq VAR(\hat{y})$	$I \leq 1$	$N_e \leq N_1$	$N_g \leq 0$	No

C. MEJORAMIENTO DEL ESTIMADO DE LA MEDIA

Langbein (1960) ha mostrado que para mejorar la precisión del estimado de la media de una secuencia, la longitud efectiva del record N_e debe ser mayor que N_1 o $N_g > 0$ donde N_e es:

$$N_e = \frac{N_1 + N_2}{1 + \frac{N_2}{N_1 - 2}(1 - r^2)} \quad (3.79)$$

Desde la Ecuación (79) se puede deducir que si $N_e > N_1$ la siguiente relación puede ser:

$$r > \left\{ \frac{2}{N_1} \right\}^{1/2} \quad (3.80)$$

Lo cual indica que la correlación no siempre puede ser usada para mejorar los estimados de la media.

Una relación de mayor aproximación fue sugerida por Fiering (1963), y Matalas y Jacobs (1964). La R.L. de la Ec. (75) fue usado para estimar los valores en la estación más corta y el estimado de la media de los datos combinados fue dado por la Ec. (77)

. La precisión de este estimado está dado por la variancia $VAR(\bar{Y})$ como:

$$VAR(\bar{Y}) = \frac{\sigma_y^2}{N_1} \left\{ 1 - \frac{N_2}{N_1 + N_2} \left[r^2 - \frac{(1 - r^2)}{N_1 - 3} \right] \right\} \quad (3.81)$$

Para que \bar{Y} (registro extendido) sea un mejor estimado de μ_y que \bar{Y}_1 (registro corto)

$$VAR(\bar{Y}) < VAR(\bar{Y}_1) = \frac{\sigma_y^2}{N_1} \quad \text{Esto ocurre si:}$$

$$r > \left[\frac{1}{N_1 - 2} \right]^{1/2} \quad (3.82)$$

El lado derecho de la Ec. (3.82) es llamado el COEFICIENTE DE CORRELACION CRITICO MINIMO para mejorar el estimado de la media.

La tabla 3.2 da los valores críticos mínimos de r para valores de N_1 .

TABLA 3.2

Valores Críticos mínimos de r para mejorar el estimado de la media obtenidos con la Ec. (82)

N_1	5	10	15	20	25	30	40	50
r	0.58	0.35	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14

D. MEJORAMIENTO DEL ESTIMADO DE LA VARIANCIA

El estimado de la variancia puede ser mejorado por el análisis de la correlacion, si $VAR[S^2(y)]$, la variancia del estimado después que el registro es extendido por la correlacion es menor que $VAR[S_1^2(Y)]$, la variancia del estimado tomado como serie original. Esto también significa que el contenido de información relativa puede ser >1 .

Considerando la Ecuación de Regresión (75) para extender el registro corto de Y, Matalas y Jacobs (1964) han demostrado que la variancia del estimado $S^2(Y)$ de la secuencia extendida es:

$$VAR[S^2(Y)] = \frac{2\sigma_y^4}{(N_1-1)} + \frac{N_2 \sigma_y^4}{(N_1+N_2-1)^2} [Ar^4 Br^2 + C] \quad (3.83)$$

Donde A,B y C son funciones de N_1, N_2 y θ , ellos pueden ser obtenidos desde referencias anteriores. Para que $S^2(Y)$ (record extendido) sea un mejor estimado de σ_y^2 que $S_1(Y)$ (record corto), entonces:

$$VAR[S^2(Y)] < VAR[S_1^2(Y)] = \frac{2\sigma_y^4}{(N_1-1)} \quad \text{Esto ocurre si}$$

$$r > \left[\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right]^{1/2} \quad (3.84)$$

Los valores de A, B, y C pueden ser colocados por las siguientes expresiones:

$$A = \frac{(N_2 + 2)(N_1 - 6)(N_1 - 8)}{(N_1 - 5)(N_1 - 3)} - \frac{2(4N_1 - 16)}{(N_1 - 3)} + \frac{4(N_1 - 4)\theta^2}{(N_1 - 3)} - \frac{2N_2 (N_1 - 2P - 2)^2}{(N_1 - 3)^2} \theta^2 + \frac{N_2 (N_1 - 4)^2 N_1}{(N_1 - 3)^2 (N_1 - 2)} \theta^4$$

$$B = \frac{6(N_2 + 2)(N_1 - 6)}{(N_1 - 5)(N_1 - 3)} + \frac{2(N_1^2 - N_1 - 14)}{(N_1 - 3)} - \frac{2(N_1 - N_2 - 1)}{(N_1 - 3)} + (1 - \theta^2) + 2N_2 \frac{2(N_1 - 4)(N_1 - 5)}{(N_1 - 3)^2} \theta^2 + \frac{2(N_1 - 4)(N_1 + 3)}{(N_1 - 3)} \theta^2 - \frac{2N_2 (N_1 - 4)^2 N_1}{(N_1 - 3)^2 (N_1 - 2)} \theta^4$$

$$C = \frac{2(N_1+1)}{(N_1-3)} + \frac{3(N_2+2)}{(N_1-5)(N_1-3)} - \frac{(N_1+1)(2N_1-N_2-2)}{(N_1-1)} + \frac{2(N_1-2P-2)(N_1-N_2-1)(1-\theta^2)}{N_1-2P-2} + \frac{2N_2(N_1-4)}{(N_1-3)^2} \quad (3.85)$$

El valor del lado derecho de la Ec. (84) es llamado Coeficiente de Correlación Crítico Mínimo. Si la desigualdad no es satisfecha, entonces $S_1^2(Y)$ es mejor estimador de σ_y^2 que $S^2(Y)$. Los Cuadros N° 09 y 10 da valores críticos mínimos del coeficiente de correlación para varios valores de N_1 y N_2 y para $\theta = 0$ y $\theta = 1$ respectivamente. Estos cuadros muestran que los valores críticos de r son generalmente más altos cuando el ruido no es adicionado, $\theta = 0$, que cuando el ruido es adicionado $\theta = 1$.

Es importante también notar que si $\theta = 0$, los valores críticos de r en general tienden a incrementar como N_1 y N_2 aumentan, mientras ocurre lo contrario cuando $\theta = 1$.

E. MEJORAMIENTO DEL ESTIMADO DE OTROS PARAMETROS

Una de las asunciones básicas hechas para desarrollar el criterio para el mejoramiento de estimados de la media y de la variancia, fue la normalidad. Esto es, las secuencias corta y larga fueron asumidas a ser normalmente distribuidas conjuntamente. Si esta asunción es encontrada, entonces los estimados mejorados de la media y variancia sirven para determinar completamente la distribución de los datos. Si la asunción de normalidad no es encontrada, se deberá ensayar para solucionar este problema con algunas transformaciones apropiadas de los datos originales.

Transformaciones simples, tales como las logarítmicas, raíz cuadrada, son con frecuencia usadas. Si las transformaciones de normalización son usadas, el criterio dado en secciones previas no pertenece a las variables originales; pero si a las variables transformadas.

Criterios analíticos para mejorar los estimados de los parámetros de variables de los contaminantes atmosféricos no normales no han sido desarrollados. Si los datos no son normales (que es el caso usual) y transformaciones sugeridas anteriormente no pueden hacerlos normal, la práctica común es de todos modos usar el criterio dado en las dos secciones anteriores para mejorar la estimados de la media y de la variancia. Otros parámetros, como por ejemplo el coeficiente de sesgo, puede ser estimado por un análisis regional o valores generalizados.

3.8.2 **EXTENSIÓN DE INFORMACIÓN POR REGRESIÓN LÍNEAL MULTIPLE**

El propósito de esta sección es presentar la base estadística para la extensión de información de los contaminantes atmosféricos desde dos o más estaciones con registros largos a una estación de registro corto, cuyas consideraciones básicas son:

A. MODELAMIENTO MATEMATICO.

La R.L.N. para extender la información de los contaminantes atmosféricos a un sitio dado con un registro corto , es aplicado cuando hay dos o más sitios cercanos con registros largos .Asumir que el registro corto de tamaño N_1 está representado por Y , y los P registros largos de tamaño $N_1 + N_2$ están representados por el vector X . Estas secuencias pueden ser representadas como (Salas la C. 1978)

$$\begin{aligned}
 & Y_1, Y_2, \dots \dots \dots Y_{N_1}, \\
 & X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, \dots \dots \dots X_{N_1}^{(1)}, X_{N_1+1}^{(1)}, \dots \dots \dots, X_{N_1+N_2}^{(1)}
 \end{aligned}
 \tag{3.86}$$

$$\begin{aligned}
 & X_1^{(2)}, X_2^{(2)}, \dots \dots \dots X_{N_1}^{(2)}, X_{N_1+1}^{(2)}, \dots \dots \dots, X_{N_1+N_2}^{(2)} \\
 & X_1^{(P)}, X_2^{(P)}, \dots \dots \dots X_{N_1}^{(P)}, X_{N_1+1}^{(P)}, \dots \dots \dots, X_{N_1+N_2}^{(P)}
 \end{aligned}$$

Donde las observaciones en diferentes puntos del tiempo son asumidas a ser independientes. Es usual asumir que los flujos comunes son extraídos desde una población normal multivariada (o que ellos pueden ser transformadas a esta distribución) con parámetros $\mu_x^{(i)}$, $\sigma_x^{2(i)}$, igual a la media y variancia poblacionales de $X^{(i)}$ respectivamente, para $i = 1, 2, \dots, P$; μ_y y σ_y^2 , los valores poblacionales de la media y variancia de Y respectivamente, y R es el coeficiente de correlación múltiple. El problema consiste en transferir la información desde P estaciones con registros de longitud $(N_1 + N_2)$ a la estación con registro corto y mejorar los estimados de sus parámetros μ_y y σ_y^2 . El registro corto de longitud N_1 debe ser relacionado a las P registros X_i por el modelo de regresión:

$$Y_t = a + \sum_{i=1}^P b_i X_t^{(i)} + (1 - R^2)^{1/2} \alpha \theta S_1(Y) \epsilon_t
 \tag{3.87}$$

Donde a y b son calculados por:

$$a = \bar{Y}_1 - \sum_{i=1}^P b_i X_1^{(i)}
 \tag{3.88}$$

$$b_i = \sum_{j=1}^P d_1^{(ij)} c_1^{(j)}, \quad i=1, 2, \dots, P
 \tag{3.89}$$

Con $d_1^{(ij)}$ igual a los elementos de la inversa de la matriz cuyos elementos son:

$$g_1^{(ij)} = \sum_{t=1}^{N_1} [X_t^{(i)} - \bar{X}_1^{(i)}] [X_t^{(j)} - \bar{X}_1^{(j)}] \quad i, j = 1, 2 \dots, P
 \tag{3.90}$$

$$y \quad c_1^{(j)} = \sum_{t=1}^{N_1} [X_t^{(j)} - \bar{X}_1^{(j)}] [Y_t - \bar{Y}_1] \quad j = 1, 2 \dots, P
 \tag{3.91}$$

los estimados: $\bar{X}_1^{(i)} = \frac{1}{N_1} \sum_{t=1}^{N_1} X_t^{(i)} \quad i=1, 2, \dots, P \quad (3.92)$

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{t=1}^{N_1} Y_1 \quad (3.93)$$

$$S_1(Y) = \left[\frac{1}{N_1-1} \sum_{t=1}^{N_1} (Y_1 - \bar{Y}_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.94)$$

El coeficiente α está dado por:

$$\alpha = \left[\frac{N_2 (N_1 - 2P - 2)(N_1 - 1)}{(N_2 - 1)(N_1 - P - 2)(N_1 - P - 1)} \right]^{1/2} \quad (3.95)$$

Es requerido para obtener un estimado insesgado de σ_y

El coeficiente θ es igual a uno si el termino aleatorio es considerado, en otros casos es igual a cero. Finalmente, el coeficiente R es estimado desde las N_1 observaciones comunes (Yevjevich, 1972)

$$R = \left[\frac{\sum_{i=1}^P b_i C_1^{(i)}}{\sum_{t=1}^{N_1} (Y_t - \bar{Y}_1)^2} \right]^{1/2} \quad (3.96)$$

La ecuación (87) es usado para extender los valores de Y, tal como la secuencia producida:

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_{N_1}, \hat{Y}_{N_1+1}, \dots, \hat{Y}_{N_1+N_2}$$

Donde \hat{Y}_t representa la secuencia estimada desde la ecuación (87). Basado en esta secuencia extendida los nuevos estimados de la media μ_Y y de la variancia σ_Y^2 son:

$$\bar{Y} = \bar{Y}_1 + \frac{N_2}{N_1+N_2} \sum_{i=1}^P b_i [X_2^{(i)} - X_1^{(i)}] \quad (3.97)$$

$$S^2(Y) = \frac{1}{N_1+N_2-1} \left\{ (N_1 - 1) S_1^2(Y) + \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P b_i b_j g_2 + \frac{(N_2)(N_1)}{N_1+N_2} \left[\sum_{i=1}^P b_i (X_2^{(i)} - X_1^{(i)}) \right]^2 + (N_2 - 1) \alpha^2 \theta^2 (1 - R^2) S_1^2(Y) \right\} \quad (3.98)$$

Donde:

$$g_2^{(ij)} = \sum_{t=N_1+1}^{N_1+2} [X_t^{(i)} - \bar{X}_2^{(i)}] [X_t^{(j)} - \bar{X}_2^{(j)}] \quad (3.99)$$

$$y \quad \bar{X}_2^{(i)} = \left(\frac{1}{N_2} \right) \sum_{t=N_1+1}^{N_1+N_2} X_t^{(i)} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, P \quad (3.100)$$

Los otros términos han sido definidos anteriormente. Las ecuaciones (97) y (98) dan los nuevos estimados de μ_Y y σ_Y^2 , los que consisten solo de términos que pueden ser calculados directamente desde las observaciones actuales.

B. CRITERIOS PARA MEJORAR LOS ESTIMADOS DE LOS PARAMETROS.

El criterio para mejorar los estimados de los parámetros de una secuencia corta basado en la transferencia de información desde varias secuencias de sitios contiguos por medio del modelo de R.L.M. es similar a los criterios de transferencia de información de un sitio a otro mediante R.L.S.

Esto es, la variancia del parámetro estimado $\hat{\gamma}$ es tomado como una medida de precisión del estimado. Si $VAR(\hat{\gamma})$ es pequeña, la precisión del estimado de $\hat{\gamma}$ es buena; pero si $VAR(\hat{\gamma})$ es grande la precisión es pobre.

Actualmente, dos estimados de los parámetros ($\hat{\gamma}_1$) son calculados y comparados; un estimado del registro de datos de N_1 años denotado por $VAR(\hat{\gamma})$ y el otro estimado por el record extendido de $(N_1 + N_2)$ años mediante el modelo de R.L.M. de la ecuación (87) denotado por $VAR(\hat{\gamma})$.

Si $VAR(\hat{\gamma}) < VAR(\hat{\gamma}_1)$ entonces la transferencia de información desde los P sitios contiguos ha incrementado o mejorado la precisión del estimado del parámetro γ ; por otro lado:

Si $VAR(\hat{\gamma}) > VAR(\hat{\gamma}_1)$ entonces la transferencia de información ha disminuido la precisión del estimado de γ .

Por lo tanto, en el último caso, la transferencia no es deseable. Como en el caso de R.L.S., el contenido de información relativa j , y la longitud efectiva del registro N_e , pueden también ser usada para medir la bondad del estimado de un parámetro después de utilizar la R.L.M.

C. MEJORAMIENTO DEL ESTIMADO DE LA MEDIA

La variancia del estimado \bar{Y} de la ecuación (97) está dado por:

$$VAR(\bar{Y}) = \frac{\sigma_y^2}{N_1} \left\{ 1 + \frac{N_2}{(N_1 + N_2)} * \frac{[P - (N_1 - P)]R^2}{(N_1 - P - 2)} \right\} \quad (3.101)$$

Como $VAR(\bar{Y}_1) = \frac{\sigma_y^2}{N_1}$, se tiene que $VAR(\bar{Y}) < VAR(\bar{Y}_1)$, se cumple si:

$$R > \left[\frac{P}{(N_1 - 2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.102)$$

Los valores mínimos críticos del coeficiente de correlación para varios valores de N_1 y P, se obtienen de tablas predeterminadas.

D. MEJORAMIENTO DEL ESTIMADO DE LA VARIANCI

La variancia del estimado $S^2(Y)$ de la ecuación (98) está dado por:

$$VAR[S^2(Y)] = \frac{2\sigma_y^4}{(N_1 - 1)} \left[1 + \frac{N_2(N_1 - 1)}{(N_1 + N_2 - 1)} (AR^4 + BR^2 + C) \right] \quad (3.103)$$

Donde A,B y C son funciones de N_1, N_2, θ y pueden ser obtenidos de las ecuaciones anteriores. Para que $S^2(Y)$ sea un mejor estimado σ_y^2 que si $S_1^2(Y)$, entonces :

$$VAR[S^2(Y)] < VAR[S_1^2(Y)] = \frac{2\sigma_y^4}{(N_1 - 1)}$$

Esto ocurre si:

$$R > \left[\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2AC} \right]^{1/2} \quad (3.104)$$

El valor del lado derecho de la Ec. (3.104) es llamado el coeficiente de correlación múltiple crítico mínimo para mejorar el estimado de la variancia. Si la desigualdad (3.104) no es satisfecha, entonces $S_1^2(Y)$ es mejor estimado de σ_y^2 que $S^2(Y)$. En este caso, el modelo de R.L.M. de la ecuación (87) no puede ser usado para la extensión de registros cortos.

Los valores críticos mínimos de R de la ecuación (3.104) se obtienen de tablas para $\theta = 0$, y para varios valores de N_1, N_2 y P. Similarmente, el Cuadro N° 13 da los valores de R correspondientes para un $\theta = 1$.

Es importante notar la diferencia grande entre los valores de R para $\theta = 0$ y $\theta = 1$.

E. REQUERIMIENTOS DE DATOS

La extensión de información desde uno o más puntos de un área de monitoreo al punto de interés, aplicando la técnica de análisis de regresión, requiere la consideración de los siguientes aspectos (Natural Environment Research Council, 1975).

1° Las estaciones de medición están en la misma área con centros a una distancia no mayor de 80 Km aproximadamente del punto de interés. Dependiendo de las características particulares de topografía, geografía, meteorología, etc., la distancia entre las estaciones de monitoreo pueden ser más cortas o más largas que los 80 Km.

2° Se pueden probar otras variables relacionadas con la contaminación atmosférica tales como la precipitaciones y humedad del suelo, radiación solar según estaciones del año.

3° Se puede seleccionar un intervalo de un tiempo apropiado de las variables considerados para la extensión de información. Para extender los registros de los contaminantes atmosféricos, los valores anuales pueden representar una preferencia para la comparación y correlación entre las estaciones de monitoreo, pero estos son con frecuencia correlacionados, intervalos de tiempos más cortos son necesarios como mensuales, estacionales, dependiendo del caso particular.

En las muestras de intervalo más cortos, los valores frecuentemente coinciden en el tiempo en estaciones adyacentes, por lo que los valores semanales pueden mejorar

más que los mensuales. Relaciones entre los datos desde los mismos eventos de contaminación atmosférica pueden ser elegidas en forma lógica.

4° Un análisis de consistencia de datos de todas las estaciones de monitoreo seleccionada para la transferencia de información puede ser conducido para revisar los posibles errores sistemáticos. Si estos errores son encontrados, entonces se realizaran las correcciones necesarias antes de estimar las ecuaciones de transferencia.

5° Cuando hay muchas estaciones de medición que pueden ser usadas para la transferencia de datos a un punto de registro corto, la selección de las estaciones a ser usadas depende de varios factores tales como la distancia, longitud de registro, información de parámetros de contaminación común, topografía, geomorfología, etc. Si las pruebas estadísticas son usadas, el grupo de estaciones que dan el coeficiente de correlación múltiple más alto en el punto de interés, puede ser seleccionado. Similarmente, si la decisión es para usar uno, dos o más puntos para la transferencia de información al punto de interés, el coeficiente de correlación entre el punto simple y el punto de interés puede ser comparado con el coeficiente de correlación múltiple R entre el grupo de puntos. Si $r > R$ entonces se usa solo el punto simple, en el otro caso usar el grupo de puntos.

CAPITULO IV

PROCESAMIENTO DE DATOS ESTADÍSTICOS

4.1 SISTEMA DE MONITOREO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS

En la ciudad de Arequipa, el sistema de monitoreo de datos estadísticos, se encuentra a cargo las siguientes instituciones públicas acreditadas; El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto nacional de Estadística e Informática (INEI) y la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) de la Gerencia Regional de Salud, en cumplimiento con la normativa de calidad de aire. Mediante la Red de Monitoreo, Controla y mide los contaminantes que contribuyen, en mayor medida, al deterioro de la calidad de aire de nuestra ciudad. Red de Información, periódicamente entrega resultados de estas mediciones y datos obtenidos sobre la presencia de contaminantes en distintas zonas críticas de nuestra cuenca atmosférica, y del impacto de la calidad de aire en la salud.

En el presente trabajo de investigación se ha considerado la recolección de dichos datos de entrada, los que serán evaluados, ordenados, para obtener información útil, que luego serán analizados de acuerdo al modelo al modelo estadístico propuesto en el capítulo 3, la corrección de datos (Ítem 3.6) será al 95% de probabilidad

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO POBLACIONAL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Arequipa es sin lugar a dudas, la segunda ciudad más importante del País, tanto por su aumento demográfico como por sus niveles de desarrollo económico, siendo en la actualidad un eje de desarrollo económico en el sur peruano. Su mayor ingreso económico está conformado por las actividades industrial, agrícola y ganadera.

El aumento de la población se ha ido desarrollando con mayor intensidad en los últimos años tal como se puede observar en el siguiente cuadro estadístico.

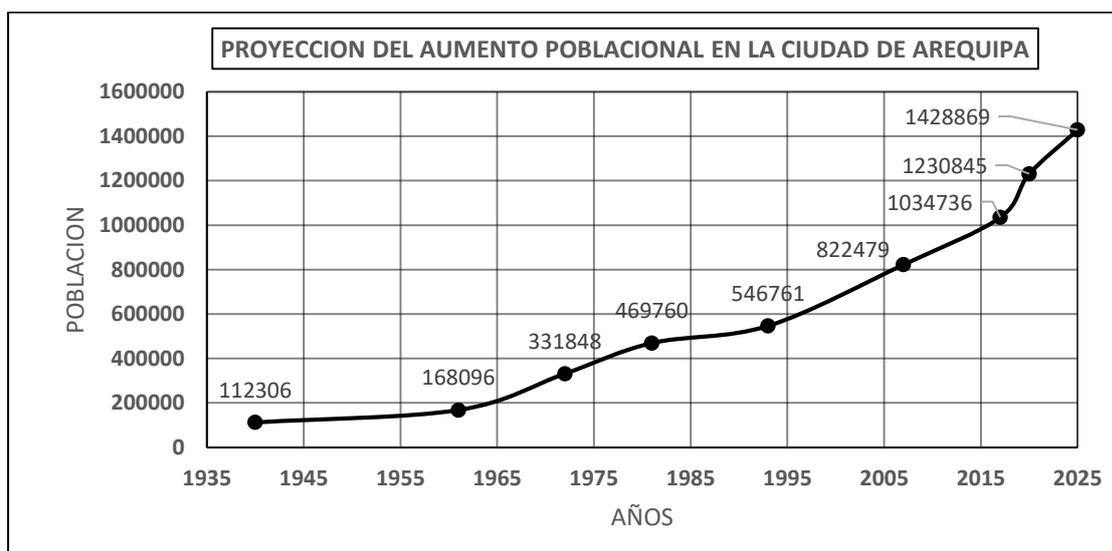
TABLA Nº 4.1

EVOLUCION DE LA POBLACION AREQUIPEÑA A TRAVEZ DE LOS CENSOS

AÑOS	POBLACION
1940	112306
1961	168096
1972	331848
1981	469760
1993	546761
2007	822479
2017	1034736

Fuente: INEI Censos Nacional de Población

GRÁFICO Nº 4.1: PROYECCION DEL MODELO PROBABILISTICO AL AÑO 2025 DEL AUMENTO POBLACIONAL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA



Fuente: INEI Censos Nacional de Población – Elaboración propia

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR

En los últimos años, el crecimiento del parque automotor en Arequipa ha puesto de relieve una serie de dificultades relacionadas con la infraestructura vial y la movilidad urbana, ya que a partir de los años 90 y hasta la fecha se ha visto crecer su parque automotor de manera preocupante y más aún porque durante la década de los años 90 se permitió la importación de vehículos usados que a la fecha vienen originando en nuestra ciudad problemas de contaminación. De igual manera en los últimos años se ha visto incrementado el parque automotor con el ingreso de gran cantidad de vehículos nuevos, lo que complica la adecuada circulación en nuestra ciudad, ya que a determinadas horas, principalmente en los días laborables en ciertos puntos de la

ciudad se crean grandes congestiones vehiculares y en otros casos accidentes de tránsito.

En el periodo 2012-2016, el parque automotor de la región Arequipa ha registrado una tasa de crecimiento compuesta anual de 8.7%, considerando las limitaciones de las pruebas estadísticas (Item 3.6.3)

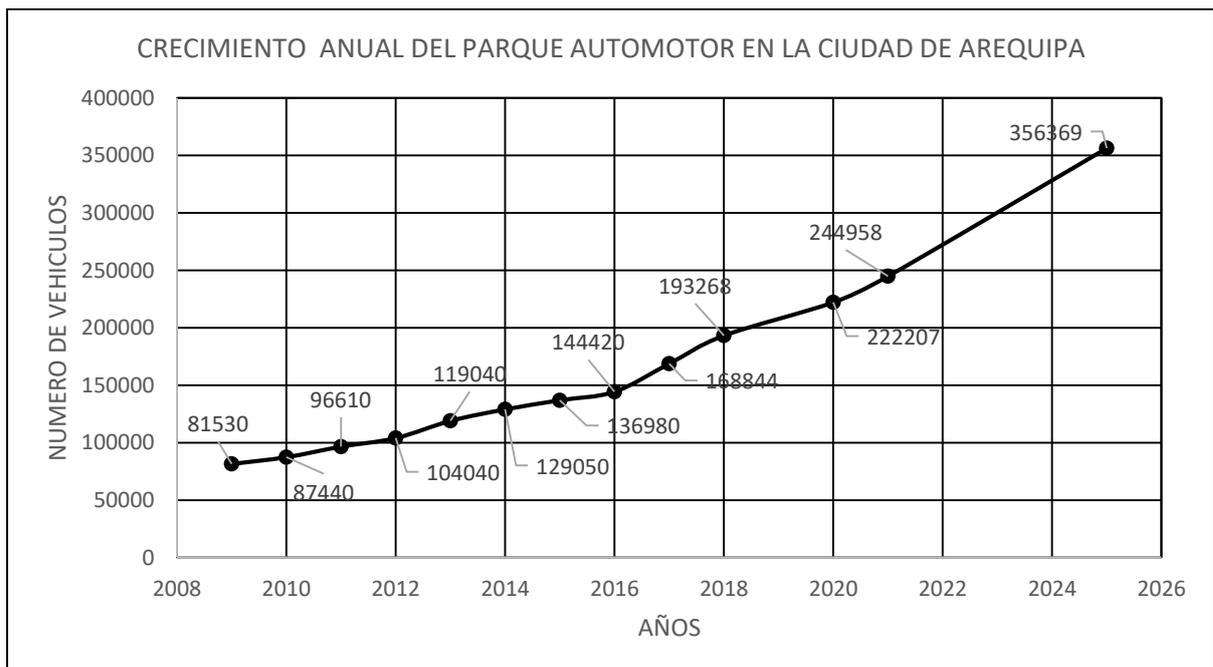
En la figura N° 4.2 se puede observar el incremento del parque automotor, dicho incremento es proporcional al aumento de la población

TABLA N° 4.2: CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑO	NUMERO DE VEHICULOS
2009	81530
2010	87440
2011	96610
2012	104040
2013	119040
2014	129050
2015	136980
2016	144420
2017	168844
2018	193268

Fuente: SUNARP - INEI

GRÁFICO N° 4.2: PROYECCION DEL MODELO PROBABILISTICO AL AÑO 2025



Fuente: SUNARP INEI – Elaboración Propia

4.4 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS

Los fenómenos atmosféricos son los fenómenos que ocurren en la atmósfera de la tierra como el viento, las nubes, precipitaciones de lluvia, nieve, granizo y fenómenos eléctricos. Los vientos, sin embargo, son los desencadenantes de la mayoría de los fenómenos atmosféricos. Se deben fundamentalmente a variaciones de la temperatura y densidad del aire de unos lugares a otros. El viento va desde las zonas de aire más frío o denso hacia las zonas de aire más caliente o más dilatado y con menos peso.

En el presente trabajo solo haremos referencia a las precipitaciones pluviales, temperaturas, humedad relativa y viento, las que nos servirán para determinar el aumento de la contaminación atmosférica en la ciudad de Arequipa.

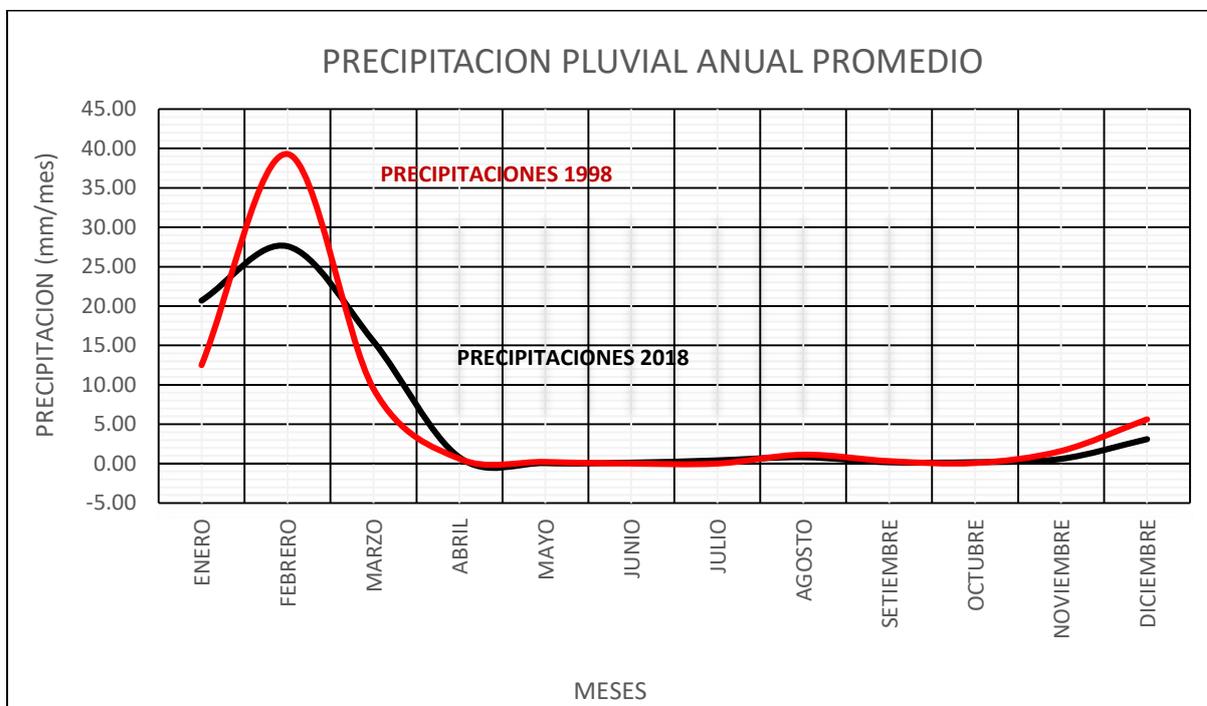
4.4.1 ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES

Los principales contaminantes que podemos encontrar en la atmósfera son el ozono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, plomo y partículas en suspensión. Estos contaminantes se emiten a la atmósfera como consecuencia de actividades industriales y de transporte, llegando a formar una capa de contaminación visible en el cielo. Cuando llueve, son las propias gotas de agua que arrastran toda esa polución realizando un efecto de lavado de la atmósfera, de manera que los primeros minutos de lluvia son los que arrastran la mayor parte de estos contaminantes. La cantidad de contaminación que arrastra la lluvia depende obviamente de las emisiones de dichos contaminantes, pero también de la frecuencia de las lluvias, que van a determinar que los contaminantes se acumulen más o menos tiempo en la atmósfera. Actualmente estamos viviendo una época de escasas precipitaciones durante el año, tal como podemos observar en el Gráfico N° 4.3, en dicho gráfico se puede observar que el invierno es más seco, que los meses de verano, lo que propicia que se supere los límites de contaminación atmosférica debido a la acumulación de contaminantes.

La presencia de lluvias es indispensable para arrastrar las partículas de la atmósfera y limpiar los gases nocivos acumulados, pero esto no sucede durante todo el año.

En el gráfico N° 4.3 se puede observar la comparación de las precipitaciones con una diferencia de 20 años en el que se puede ver claramente las variaciones dichas precipitaciones durante todo el año.

GRÁFICO N° 4.3



FUENTE: SENAMHI

Tabla 4.3

PRECIPITACIÓN PLUVIAL ANUAL PROMEDIO

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PREC 2018	20.70	27.59	15.53	0.81	0.08	0.14	0.43	0.83	0.19	0.20	0.62	3.12
PREC 1998	12.5	39.30	9.50	0.61	0.21	0	0	1.13	0.31	0.07	1.60	5.62

FUENTE: SENAMHI

4.4.2 ANALISIS DE LAS TEMPERATURAS

Durante el año la temperatura en la ciudad de Arequipa se mantiene prácticamente constante durante el día registrándose un promedio de 22. 7° C y durante la noche se observa una variación en los meses de invierno (abril, mayo, junio, julio y agosto) a con un promedio de 9. 1° C, según Gráfico N° 4.4, es por ello que la ciudad de Arequipa es considerada como la ciudad de la eterna primavera, pero la radiación solar y la contaminación ambiental son dos factores determinantes en la variación de la temperatura la que se manifiesta en el incremento de la sensación de calor. La depredación de la campiña también contribuye al incremento de la sensación de calor,

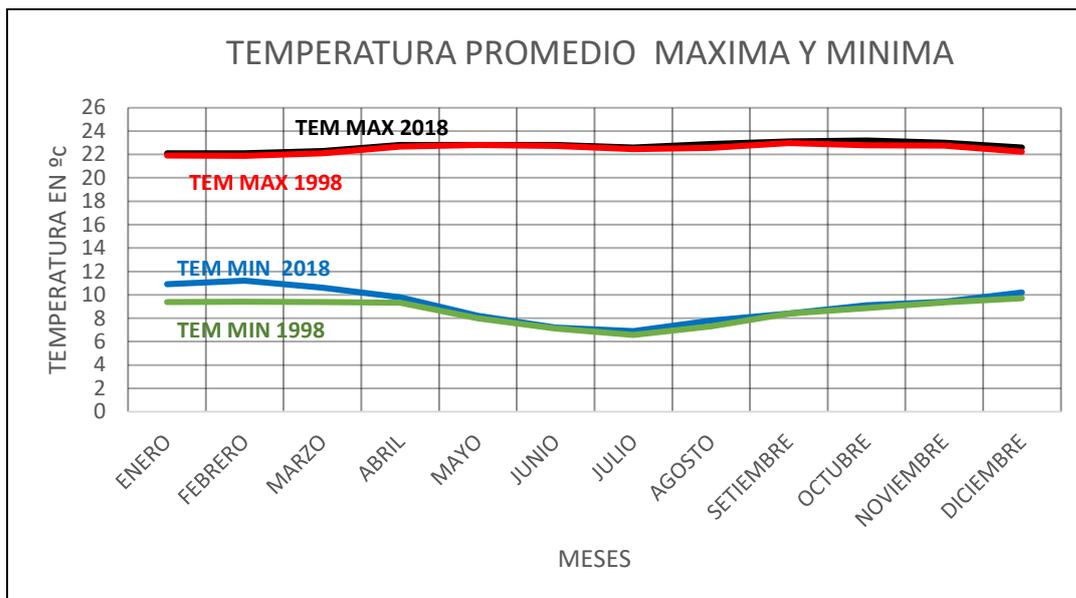
en los últimos años las áreas verdes y campos de cultivo se han reducido por el crecimiento urbano. Nuevos complejos de vivienda han cubierto de cemento los campos de cultivo.

En los últimos 10 años se ha observado un incremento de la temperatura en 0.4°C en la ciudad de Arequipa como consecuencia del cambio climático, originado por la emisión de gases contaminantes que están afectando la atmósfera focalizado en el centro de la ciudad.

La gran afluencia de vehículos, el funcionamiento de empresas y comercios, generan islas de calor que elevan la temperatura en la ciudad. El incremento de las temperaturas genera pérdidas económicas en diferentes rubros como la agricultura y el comercio.

En los meses fríos, la inversión térmica, el aire frío, más denso, se queda atrapado en las capas inferiores mientras que el aire más cálido sube hasta las capas superiores impidiendo que se mezclen las dos masas. Por eso, el aire frío y contaminado, es mucho más denso, se puede ver como una neblina compacta sobre la ciudad. Si no hay viento ni lluvia, la nube se queda posada como si fuera una sucia boina urbana, esperando a que llegue otro clima. La contaminación del aire suele desaparecer con alguna variación de temperaturas o con la aparición de un frente de presión que trae viento o lluvia, pero pueden pasar semanas hasta que ocurra.

GRÁFICO Nº 4.4



FUENTE: SENAMHI

TABLA 4.4

TEMPERATURA PROMEDIO MAXIMA Y MINIMA

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T MAX 2018	22.1	22.1	22.3	22.8	22.8	22.8	22.6	22.9	23.1	23.2	23.0	22.6
T MIN 2018	10.9	11.2	10.6	9.8	8.2	7.2	6.9	7.8	8.4	9.1	9.4	10.2
T MAX 1998	21.9	21.9	22.10	22.7	22.8	22.7	22.5	22.6	23	22.8	22.8	22.2
T MIN 1998	9.39	9.41	9.37	9.33	8.00	7.11	6.56	7.32	8.41	8.87	9.35	9.70

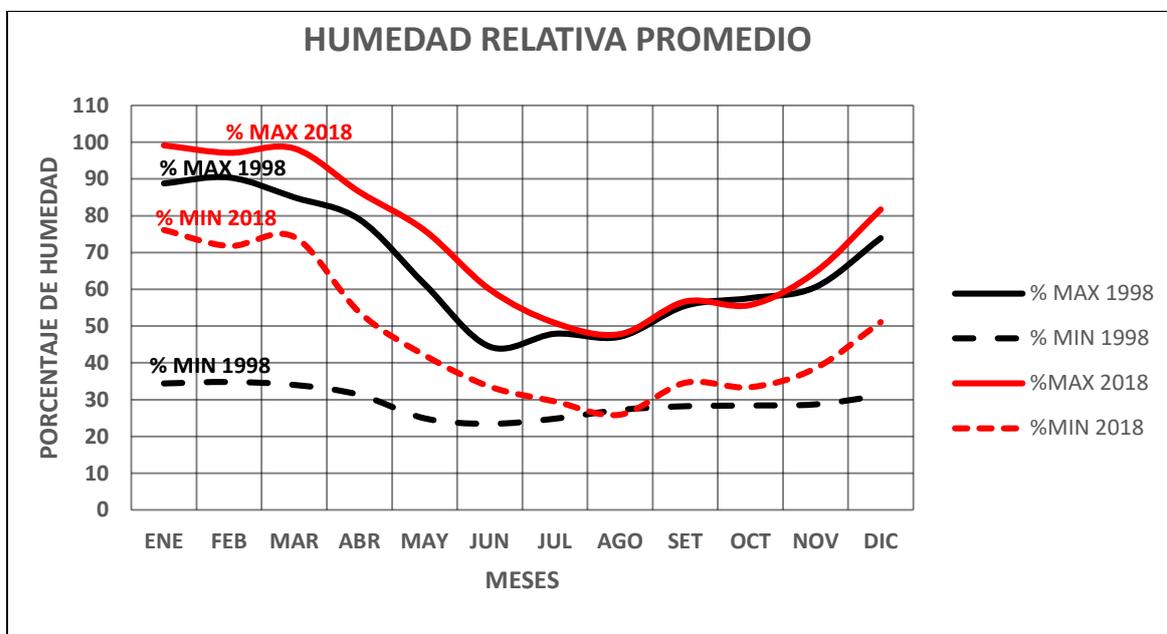
FUENTE: SENAMHI

4.4.3 ANALISIS DE LA HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa tiene importancia en la contaminación del aire por el hecho de que actúa como agente de regulador térmico, absorbiendo tanto la radiación solar como la radiación terrestre; actúa en la capacidad de evaporación y evapotranspiración de los suelos del medio, Influye en la sensación térmica (temperatura de sensación), genera sensación de sequedad e irritación (tanto de la piel como de las membranas mucosas). Si el ambiente tiene una baja humedad relativa, nuestra evaporación por la nariz y garganta aumenta, secando las mucosas de nuestro sistema respiratorio, además de resecar la piel y el cabello. Del mismo modo afecta a los materiales y a la salud. La humedad promedio en la ciudad de Arequipa es de 46%, en verano puede llegar hasta un 70% y en las demás estaciones como invierno, otoño y primavera llega a un mínimo de 27%. Por otra parte, la época de lluvias suele ser entre los meses de enero y marzo las cuales no son exageradas calificadas como totalmente soportables.

En el grafico N° 4.5 podemos ver la variación de la humedad relativa durante todo el año, además se puede ver la variación de la humedad relativa comparada desde hace 10 años, lo que nos da una idea del cambio climático por contaminación atmosférica.

GRAFICO N° 4.5



FUENTE: SENAMHI

TABLA 4.5

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
% MAX 1998	88.8	90.4	85.0	79.0	61.4	44.4	47.9	47.1	55.5	57.6	60.6	73.9
% MIN 1998	34.4	34.8	34	31.3	24.9	23.4	24.8	27.2	28.2	28.4	28.7	31.1
% MAX 2018	99.1	97.1	98.3	86.5	76.0	60.0	50.9	47.8	56.7	55.7	64.7	81.7
% MIN 2018	76.1	71.8	74.2	53.7	42.1	33.6	29.5	25.9	34.6	33.4	38.5	51.1

FUENTE: SENAMHI

4.4.4 ANALISIS DE LA VELOCIDAD DE LOS VIENTOS

Los vientos en la ciudad, responden al modelo conocido como vientos de valle y montaña, cuya mayor intensidad se presenta entre las 13 y 16 horas, en los meses de agosto y noviembre con un promedio de 8,34 Km/h y en mayor intensidad desde las 10 de la noche hasta las 7 de la mañana con un promedio de 2 m/s. Los vientos de día contribuyen en la contaminación de la ciudad de manera significativa ya que éstos no pasan arrastrando los gases contaminantes, sino que giran alrededor de ella, es decir entran a la altura de Pichu pichu, pasan por la ciudad, chocan en el Batolito de Cerro Verde, para luego chocar en el Chachani y retornar a la ciudad, es decir formando un remolino alrededor de la ciudad, esto significa que el aire contaminado de la ciudad al

combinarse con los vientos de montaña retornan nuevamente a la ciudad, para luego estancarse en la atmósfera de Arequipa. Sólo al atardecer los vientos del N-O, son los que tratan de desplazar la contaminación atmosférica a las afueras de la ciudad. (Fig. N° 4.1).

EFFECTOS LOS VIENTOS EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL CLIMA URBANO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

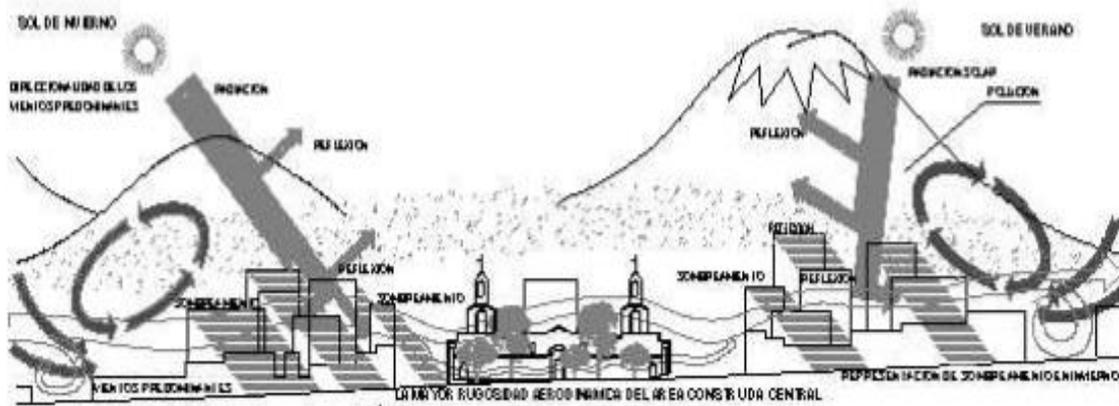


FIGURA N° 4.1

Fuente: Efectos de la Contaminación Atmosférica en el clima Urbano y Calidad Ambiental de Arequipa (Josué Llanque Chana)

En el gráfico N° 4.6 se puede observar las diferentes velocidades del viento en la ciudad de Arequipa, según las estaciones de monitoreo del SENAMI y del aeropuerto

GRÁFICO N° 4.6

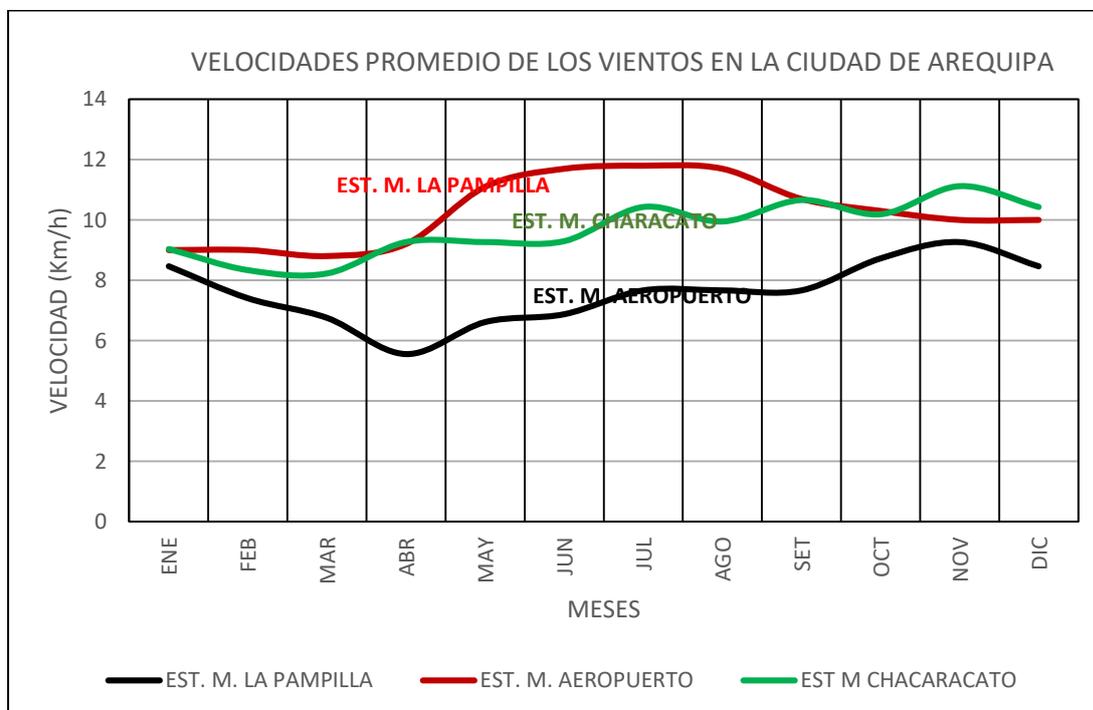


TABLA 4.6

VELOCIDADES PROMEDIO DE LOS VIENTOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

PROMEDIOS MENSUALES (Km/h)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
EST. M. CAHARACATO	9.04	8.34	8.23	9.27	9.27	9.3	10.43	9.95	10.7	10.2	11.12	10.43
EST. M. LA PAMPILLA	8.47	7.41	6.76	5.56	6.62	6.88	7.67	7.67	7.67	8.73	9.27	8.47
EST. M. AEROPUERTO	9	9	8.8	9.2	11.1	11.7	11.8	11.7	10.7	10.3	10	10

FUENTE: SENAMHI

Al margen del régimen de vientos, el emplazamiento de la ciudad de Arequipa en una zona rodeada por volcanes y el Batolito de Cerro Verde, influye en la dispersión de los contaminantes, ya que ellos se ven limitados al área circunscrita por el relieve. Dependiendo del tamaño de la geo forma, los contaminantes tendrán mayor espacio para dispersarse.

Una ciudad ubicada en un valle estará limitada por las laderas de los volcanes y el Batolito de Cerro Verde; los contaminantes tendrán poco espacio y sólo dos direcciones para dispersarse. Los factores que determinan dicho espacio son el ancho del valle y la altura de las laderas.

Los vientos locales, a su vez, están determinados por la brisa valle-montaña, la que se define por la pendiente y exposición de las laderas, además de la forma y dimensiones

longitudinales. La rugosidad del terreno, es decir los accidentes geográficos que presenta un área, define la velocidad del viento y su dirección. Mientras más caótico se presenta el relieve mayores obstáculos origina y por lo tanto genera comportamientos diferenciados, tal como puede observarse en la figura N° 4.2.

FIGURA N° 4.2

**COMPORTAMIENTO DE LOS VIENTOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA
RELACIONADOS CON LA CONTAMINACION**

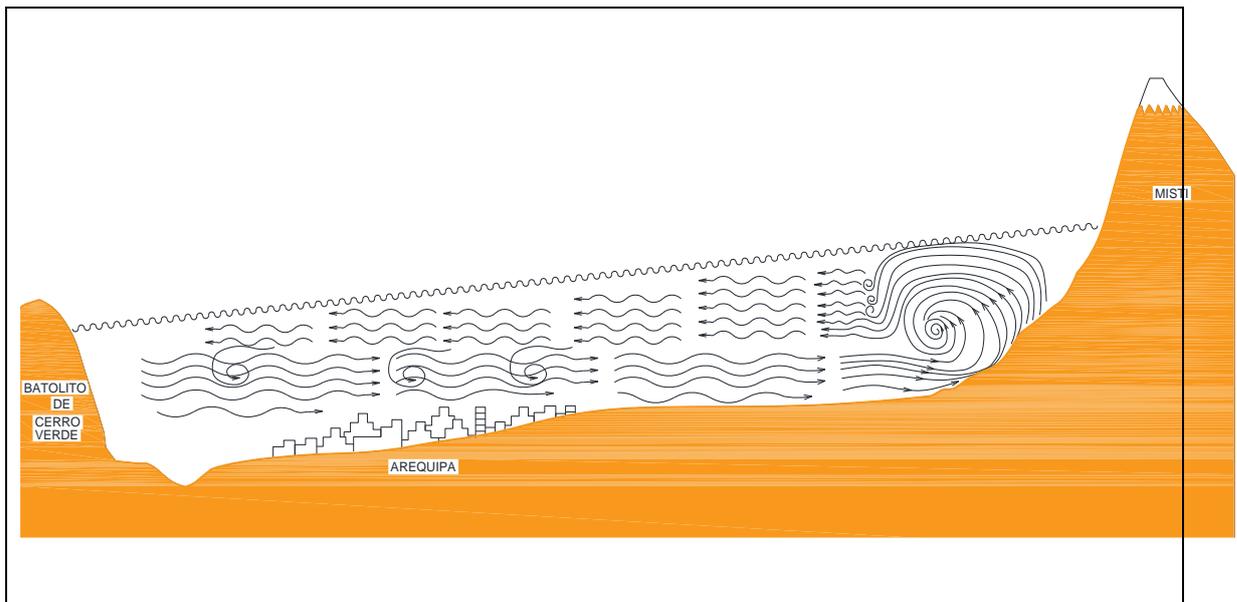


FIGURA N° 4.2 FUENTE: Elaboración propia

**CARACTERISTICAS DE LOS VIENTOS SUPERFICIALES DE AREQUIPA
DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS**

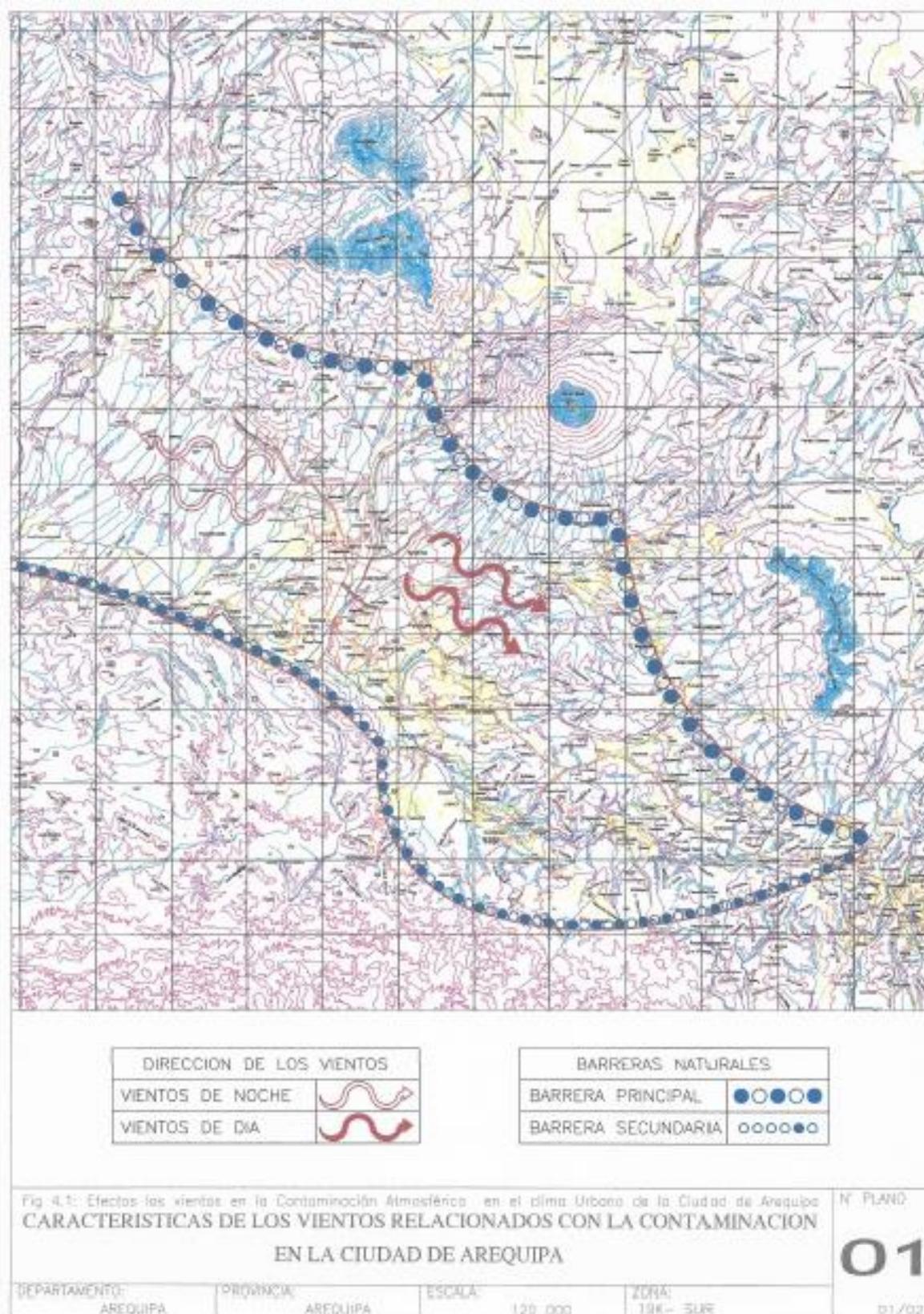


FIGURA Nº 4.3 Fuente: Tesis Normas de Control y Reducción de la Toxicidad de los gases de Escape de los Motores de Combustión Interna en la Ciudad de Arequipa

**CARACTERISTICAS DE LOS VIENTOS SUPERFICIALES DE AREQUIPA
CIRCULACIÓN DE LOS VIENTOS**

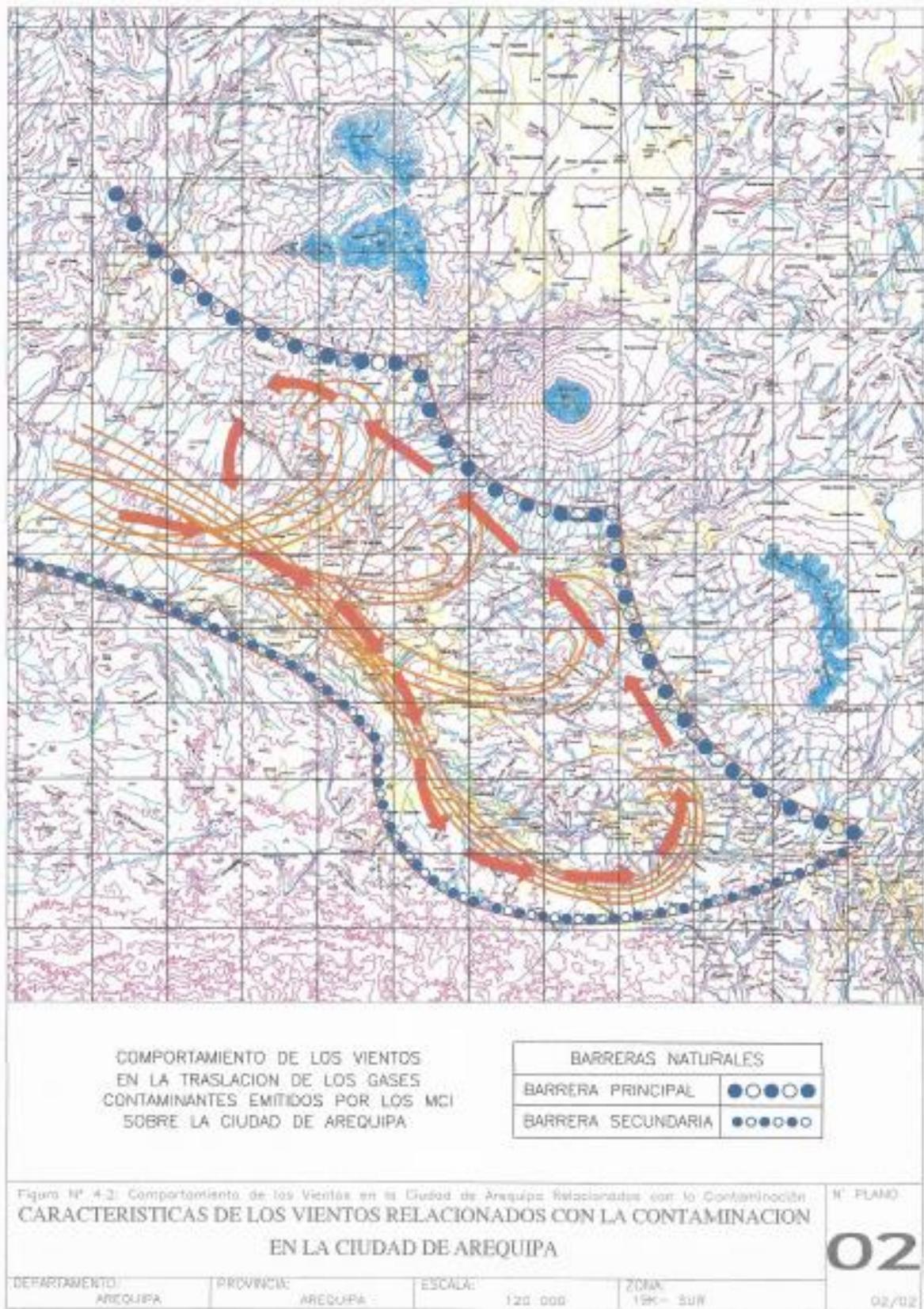


FIGURA N° 4.4 Fuente: Tesis Normas de Control y Reducción de la Toxicidad de los gases de Escape de los Motores de Combustión Interna en la Ciudad de Arequipa

4.5 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS GASES CONTAMINANTES EN LA ATMOSFERA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

El análisis estadístico de los gases contaminantes en la atmosfera de la ciudad de Arequipa constituye uno de los elementos del proceso de aplicación de los estándares, y tiene por finalidad evaluar de manera integral la calidad del aire en una zona y sus impactos sobre la salud y el ambiente, a través de estudios específicos como el monitoreo de la calidad del aire, siendo así la base para la toma de decisiones correspondientes a la elaboración de los Planes de Acción y manejo de la calidad del aire a nivel local. Un indicador de la calidad del aire lo constituye el consumo de energéticos empleados en los sectores productivos y el transporte, y también en el sector comercial y de servicios, ya que en su mayoría los contaminantes emitidos a la atmósfera son el resultado de la combustión de diferentes tipos de combustibles fósiles, básicamente los producidos por los motores de combustión interna del parque automotor de la ciudad de Arequipa.

4.5.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTADISTICO DEL MONÓXIDO DE CARBONO

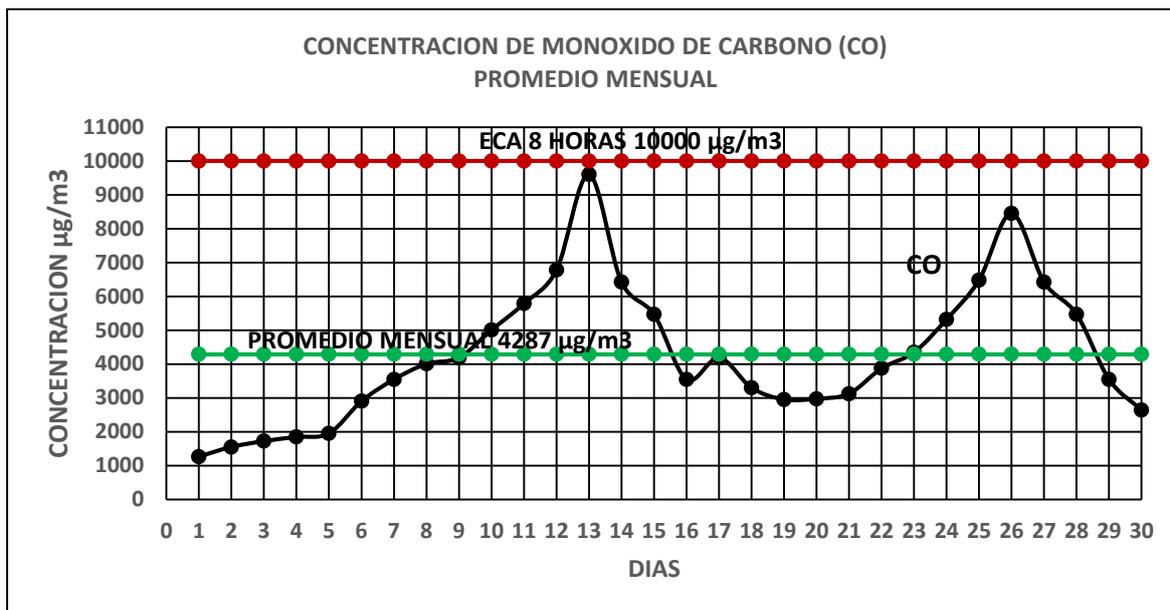
Es un gas inodoro e incoloro producto de la combustión incompleta de los hidrocarburos o biomasa en presencia del aire como oxidante, también se produce cuando no existe suficiente oxígeno para alcanzar el producto de oxidación completa del dióxido de carbono

Puede causar súbitamente una enfermedad y la muerte. El CO se encuentra en el humo de la combustión, como lo es el expulsado por automóviles y camiones, fogones de gas y sistemas de calefacción. El CO proveniente de estos humos puede acumularse en lugares que no tienen una buena circulación de aire fresco. Una persona puede envenenarse al respirarlos. Los síntomas más comunes de envenenamiento por CO son: Dolor de cabeza, Mareos, Debilidad, Náusea, Vómitos, Dolor en el pecho, Confusión

Suele ser difícil decir si alguien está envenenado con CO, ya que los síntomas pueden parecerse a los de otras enfermedades. Las personas que están dormidas o intoxicadas pueden morir de envenenamiento por CO antes de presentar síntomas.

De acuerdo a los resultados de la evaluación del monóxido de carbono en la ciudad de Arequipa tal como se refieren en la Gráficas N° 4.7 y N° 4.8, se puede observar que la concentración del CO no supera los ECAS.

GRÁFICO Nº 4.7



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, ÁREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL

ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

En la tabla Nº 4.7 se puede observar los valores obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año no supera el estándar de calidad del aire en promedio para una hora y para ocho horas.

TABLA Nº 4.7: CONCENTRACION DE MONOXIDO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

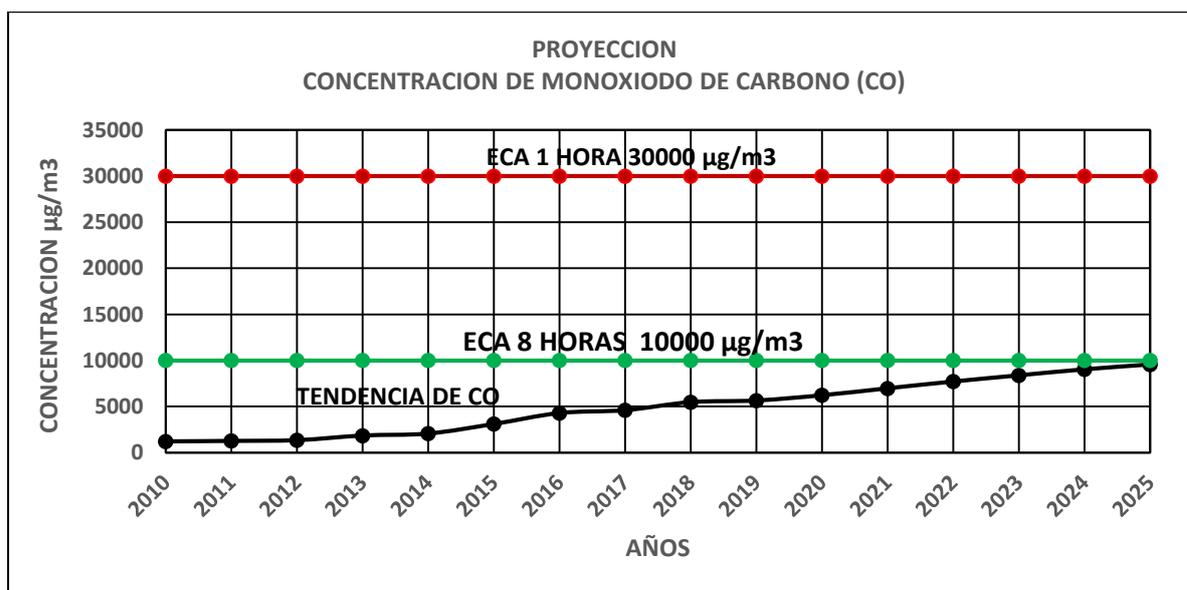
AÑO	CONCETRACION CO2
2010	1206
2011	1257
2012	1340
2013	1843
2014	2057
2015	3096
2016	4287
2017	4593
2018	5469

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL

ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

De acuerdo al modelo probabilístico en el gráfico N° 4.8 se muestra los valores proyectados al 2025, en donde se puede observar que la tendencia de la concentración es del 75% respecto al 2018, pero esto no supera el estándar de calidad del aire en promedio para una hora, para una concentración de 8 horas se observa que si va a superar el estándar de calidad al 2025.

GRÁFICO N° 4.8: PROYECCION DEL MODELO PROBABILISTICO AL AÑO 2025



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

4.5.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTADISTICO DEL DIÓXIDO DE AZUFRE

El Dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante, con un olor penetrante que se comienza a percibir con 0,3 a 1,4 ppm y es perfectamente distinguible a partir de 3 ppm (partes por millón). Su densidad es el doble que la del aire. No es un gas inflamable, ni explosivo y tiene mucha estabilidad, es muy soluble en agua y en contacto con ella se convierte en ácido sulfúrico. Consiste en un átomo de azufre y dos de oxígeno.

Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este gas forma sulfatos. Estos sulfatos forman parte del material particulado PM10. En presencia de humedad el dióxido de azufre forma ácidos en forma de aerosoles y se produce una parte importante del material particulado secundario o fino (PM2.5). El SO2 es el responsable de la lluvia ácida.

Tanto la exposición a sulfatos como a los ácidos derivados del SO2, generan graves riesgos para la salud ya que éstos pasan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias.

La principal fuente que producen la de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión de productos petrolíferos, como los combustibles, el carbón, el petróleo, el diésel, la gasolina y el gas natural quienes contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados.

Existen también algunas fuentes naturales, como es el caso de los volcanes. El SO₂ también se emplea en la industria del papel como agente blanqueador.

La contaminación del aire por SO₂ causa los siguientes efectos: Dificultad para respirar, inflamación de las vías respiratorias, irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas, alteraciones psíquicas, edema pulmonar, paro cardíaco, colapso circulatorio, queratitis.

El dióxido de azufre (SO₂) también se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂.

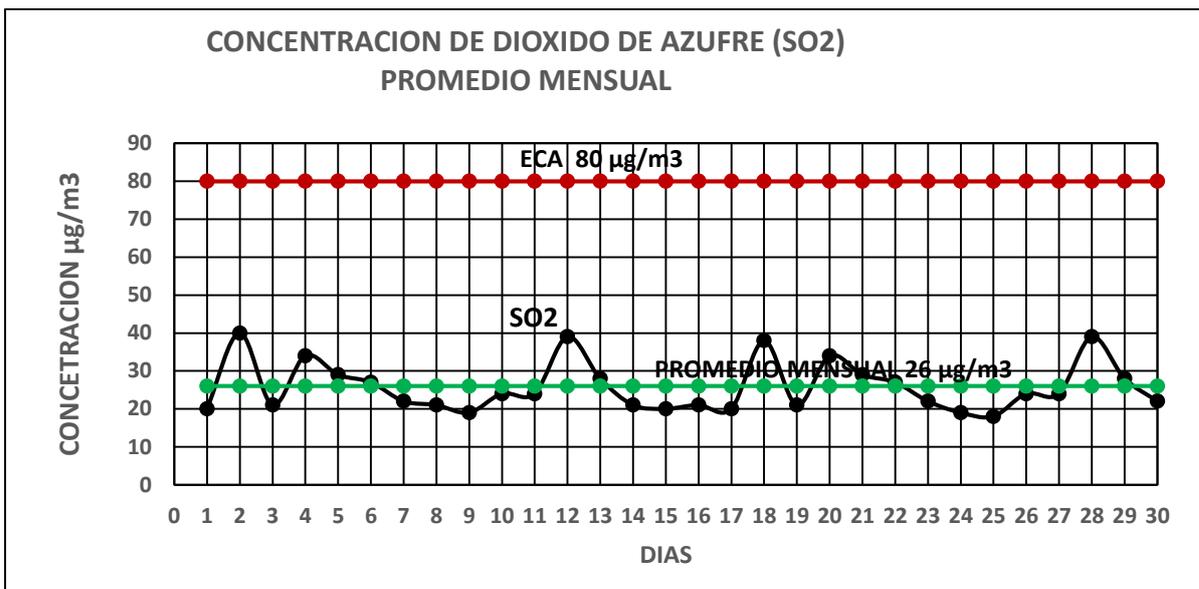
El azufre es un veneno altamente nocivo para la salud de las personas, si bien son las plantas las que menos toleran sus efectos. Por ejemplo, un nivel de 300 µg/m³ (micro gramo por metro cúbico de aire) es un valor que implica potencial riesgo para la salud humana, pero para los árboles, un valor de 200 µg/m³ ya es muy grave. En las plantas el SO₂ se introduce en las mismas produciendo una necrosis foliar. Por eso la contaminación por los óxidos de azufre (SO_x) están relacionados con el daño a la vegetación, deterioro de los suelos, materiales de construcción, monumentos históricos en piedra (es lo que se conoce como el mal de la piedra).

Curiosamente, a pesar de ser un contaminante muy perjudicial, es también un aditivo alimenticio muy utilizado al tener características conservantes y antibacterianas. Se conoce como E220 y se emplea en vinos (los famosos sulfitos) cervezas, zumos, caramelos, yemas de huevo y otros productos con huevo.

En cuanto a los efectos de su consumo, en dosis bajas provoca irritaciones en el tubo digestivo y hace inactiva la Vitamina B. En grandes dosis puede provocar dolores de cabeza, náuseas, vómitos, alergia, irritación de los bronquios y asma.

De acuerdo a los resultados de evaluación del Dióxido de Azufre en la ciudad de Arequipa tal como se refieren en la gráfica N° 4.9 y N° 4.10, se puede observar que la concentración del SO₂ no supera los estándares de calidad de aire

GRÁFICO N° 4.9



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

En la tabla N° 4.8 se puede observar los valores obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año no supera el estándar de calidad del aire en promedio para 24 horas.

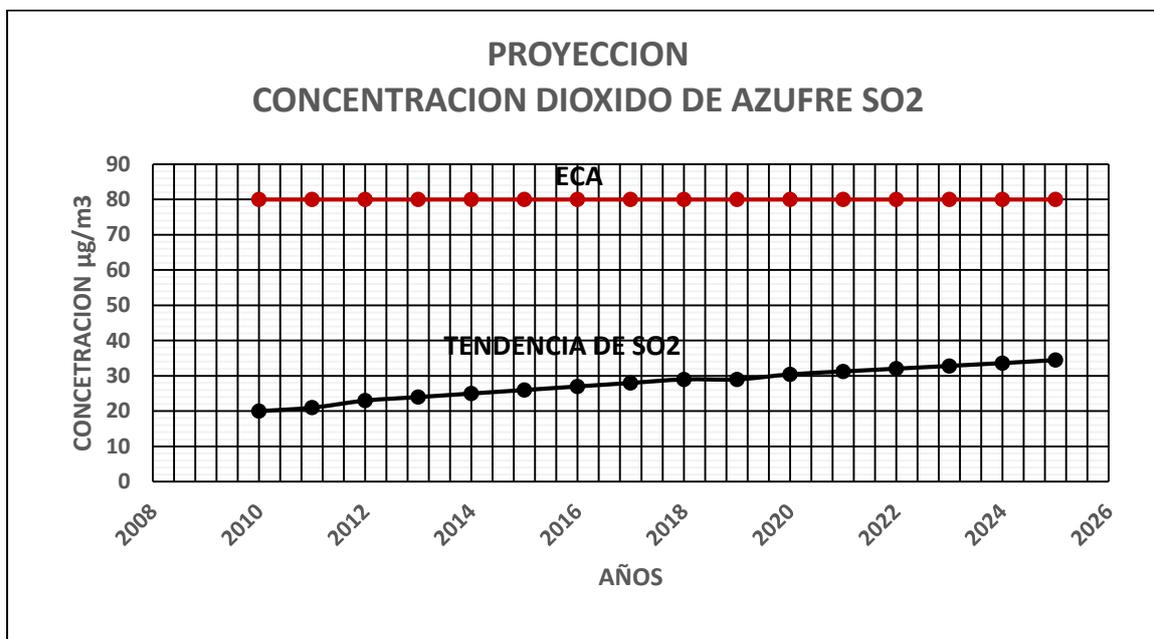
TABLA N° 4.8: CONCENTRACION DE DIOXIDO DE AZUFRE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑO	CONCENTRACION SO ₂
2010	20
2011	21
2012	23
2013	24
2014	25
2015	26
2016	27
2017	28
2018	29

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

De acuerdo al modelo probabilístico en el gráfico N° 4.10 se muestra los valores proyectados al 2025, en donde se puede observar que la tendencia de la concentración es del 17% respecto al 2018, pero esto no supera el estándar de calidad del aire en promedio para 24 horas.

GRÁFICO N° 4.10: PROYECCION DEL MODELO PROBABILISTICO AL AÑO 2025



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

4.5.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTADÍSTICO DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El Dióxido de Nitrógeno presente en el aire de las ciudades proviene en su mayor parte de la oxidación del monóxido de nitrógeno, cuya fuente principal son las emisiones provocadas por los automóviles. Por otro lado, el Dióxido de Nitrógeno interviene en diversas reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera, dando lugar tanto a la producción de ozono troposférico como de partículas en suspensión secundarias menores de 2,5 micras (PM2,5), las más dañinas para la salud. De modo que a la hora de considerar los efectos del Dióxido de Nitrógeno sobre la salud se deben tener en cuenta no sólo los efectos directos que provoca, sino también su condición de marcador de la contaminación debida al tráfico y su condición de precursor de otros contaminantes.

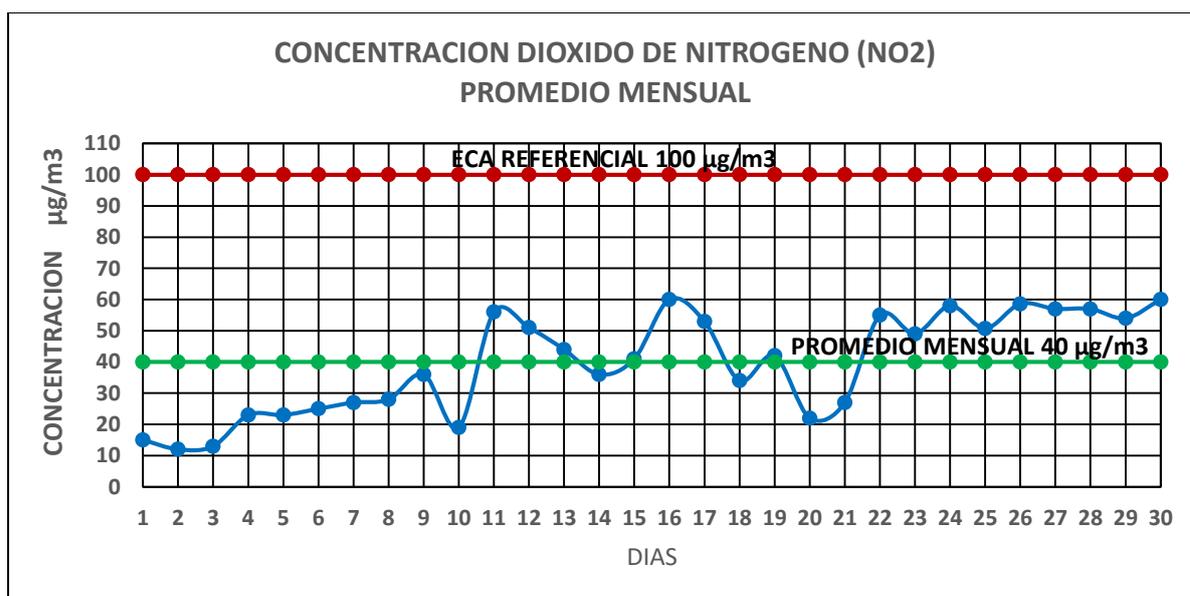
Los óxidos de nitrógeno son en general muy reactivos y al inhalarse afectan al tracto respiratorio. El dióxido de nitrógeno afecta a los tramos más profundos de los pulmones, inhibiendo algunas funciones de los mismos, como la respuesta

inmunológica, produciendo una merma de la resistencia a las infecciones. Los niños y asmáticos son los más afectados por exposición a concentraciones agudas de dióxido de carbono. Asimismo, la exposición crónica a bajas concentraciones de dióxido de nitrógeno se ha asociado con un incremento en las enfermedades respiratorias crónicas, el envejecimiento prematuro del pulmón y con la disminución de su capacidad funcional.

El dióxido de nitrógeno es uno de los causantes de la famosa lluvia ácida, ya que al reaccionar con el vapor de agua produciría ácido nítrico. Los efectos sobre la agricultura, la ganadería, los bosques, los suelos y las aguas son devastadores.

En las gráficas N° 4.11 y N° 4.12 se puede observar que de acuerdo a los resultados de monitoreo y evaluación del dióxido de nitrógeno en la ciudad de Arequipa, no superan los estándares de calidad de aire, el valor promedio mensual está por debajo de los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

GRÁFICO N° 4.11



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

En la tabla N° 4.9 se puede observar los valores obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año no supera el estándar de calidad del aire en promedio anual.

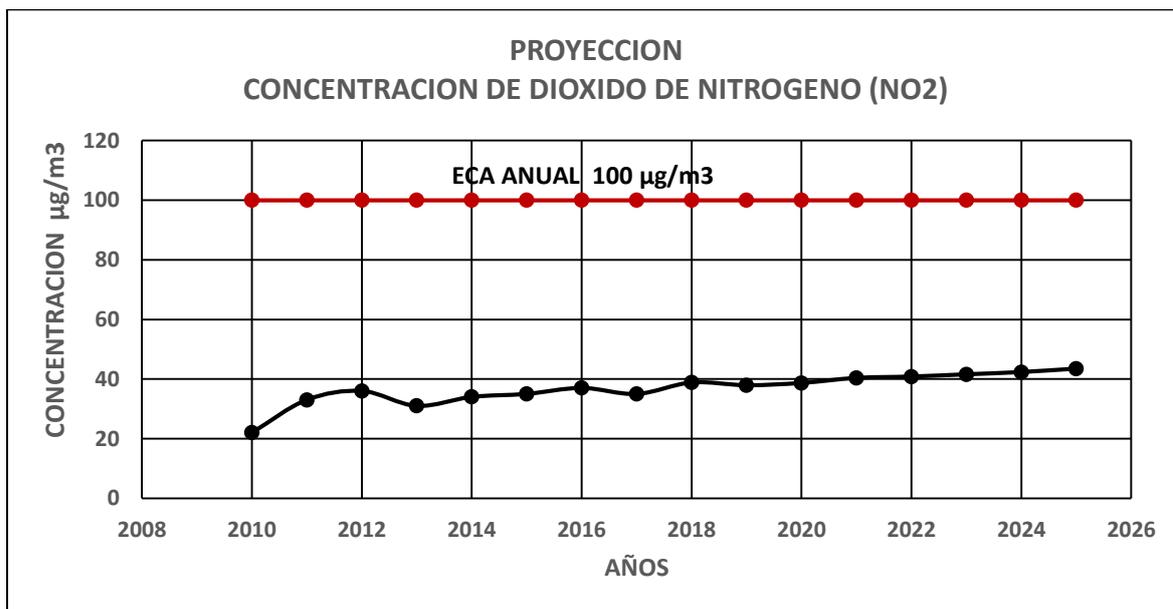
TABLA N° 4.9: CONCENTRACION DE DIOXIDO DE NITROGENO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑO	CONCENTRACION NO2
2010	22
2011	33
2012	36
2013	31
2014	34
2015	35
2016	37
2017	35
2018	39

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

Según el modelo probabilístico en el gráfico N° 4.12 se muestra los valores proyectados al 2025, en donde se puede observar que la tendencia de la concentración es del 10.25% respecto al 2018, pero esto no supera el estándar de calidad del aire en anual.

GRÁFICO Nº 4.12 PROYECCION DEL MODELO PROBABILISTICO AL AÑO 2025



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA

ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

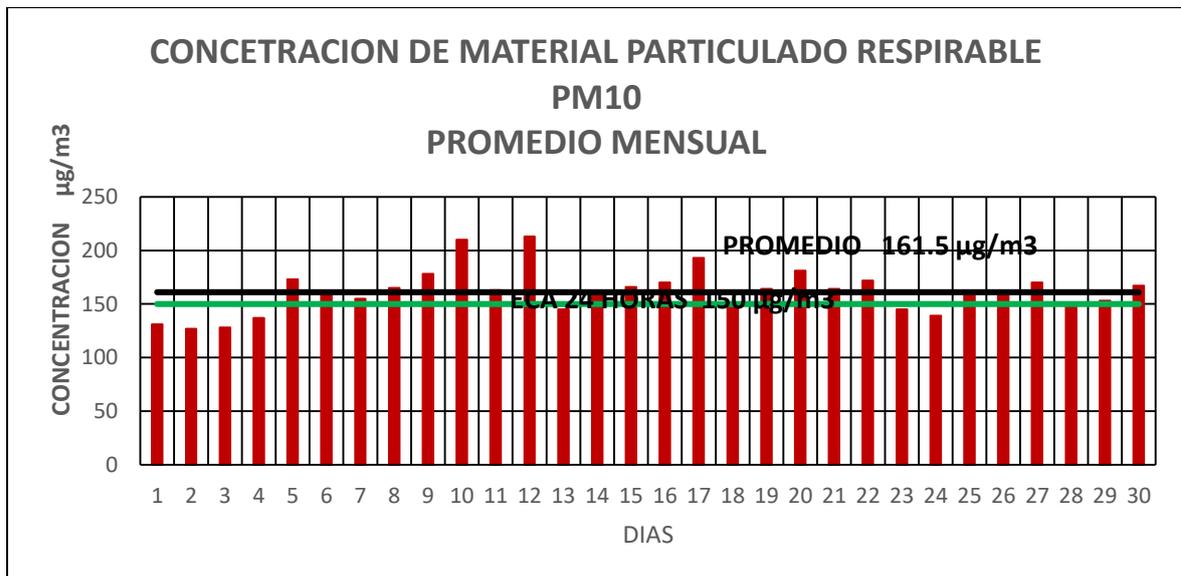
4.5.4 ANALISIS DE LOS DATOS ESTADISTICO DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE PM 10

Las PM 10 o partículas gruesas también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros, pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Tzintzun et al., 2005) y pueden ser generadas tanto por fuentes móviles como estacionarias, de manera natural o antropogénica (Villalobos et al., 2008). Se asocian generalmente a la combustión no controlada, algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la re-suspensión de partículas en el ambiente (Echeverri y Maya, 2008). Esto incluye procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diesel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y plantas de energía (Tzintzun et al., 2005). Se ha establecido que las partículas se encuentran constituidas por 7 componentes químicos o especies: material geológico, sulfatos de amonio, nitratos de amonio, material orgánico, carbón elemental, sales y elementos trazas (Chow y Watson, 1997; Viana y Salas, 2003). El tiempo que las partículas permanecen suspendidas en el aire dependen principalmente de su tamaño. El tamaño de las partículas se define por su diámetro aerodinámico y la distribución granulométrica de este tipo de partículas una vez emitida es relativamente constante (Alfaro et al., 1998).

Se puede afirmar que hay evidencia científica que correlaciona la exposición al material particulado atmosférico con diversos efectos a la salud (Viana y Salas, 2003; Bascom et al., 1996; Künzli et al., 2000). Estos estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes ambientales, incluso a niveles por debajo de la normas internacionales y nacionales, se asocian con un incremento en la incidencia de asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar, así como mayor gravedad en la presentación de las enfermedades respiratorias de niños y adolescentes (Romero et al., 2006; Querol, 2008), además de síntomas comunes como la irritación ocular, tos, malestar en garganta y dolor de cabeza (Muñoz et al., 2005). Otros efectos son daños a la economía por costo de enfermedades (beballos y Melgar, 2005), daños a la vegetación, reducción de la visibilidad (Watson y Chow, 2006), lluvia ácida (Querol, 2008) daño a los animales y fotosíntesis de las plantas (Alcalá et al., 2008).

En las gráficas N° 4.13 y N° 4.14 se puede observar que de acuerdo a los resultados de monitoreo y evaluación del material particulado respirable PM 10 en la ciudad de Arequipa, superan los estándares de calidad de aire, el valor promedio mensual está por encima de los 150 µg/m³ para 24 horas, por lo que esto es preocupante

GRÁFICO N° 4.13



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico N° 4.13 se puede apreciar la concentración de material particulado respirable PM 10 durante los 30 días promedio correspondiente a un mes, dichas concentraciones diarias superan los límites permisibles por 24 horas, además se observa que el promedio

diario de 161.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentra por encima del estándar de calidad del aire correspondiente a los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superando hasta en 45% en un día.

En la tabla N° 4.10 se puede observar los valores obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año superan el estándar de calidad del aire en promedio anual, por lo que desde ya es peligroso para la población.

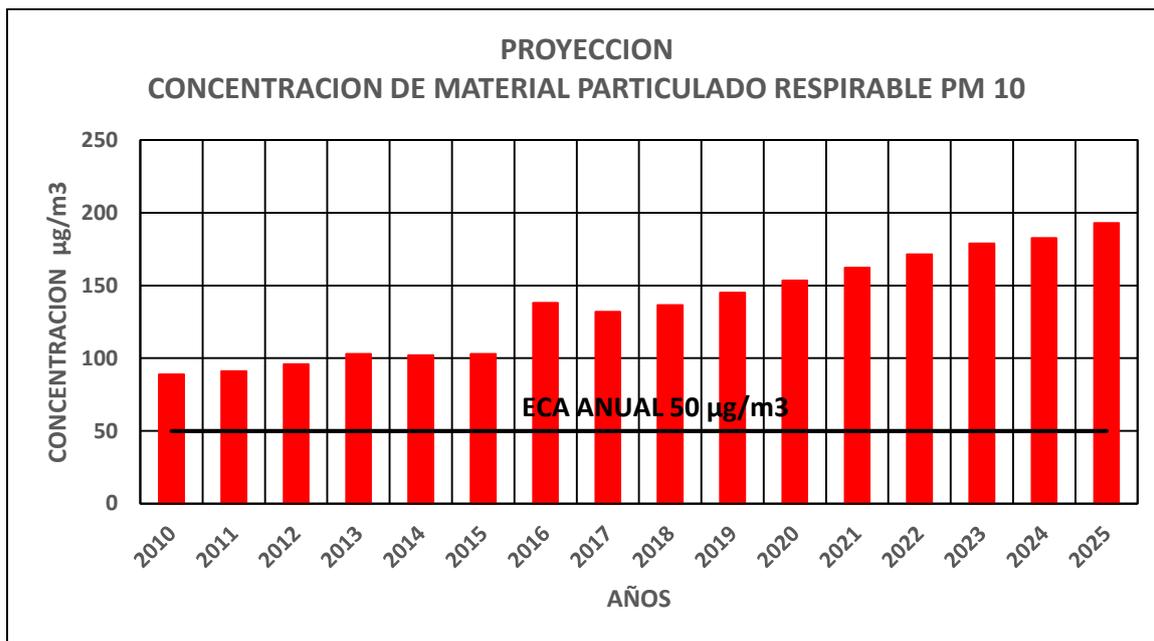
TABLA N° 4.10: CONCENTRACION DE PM10 EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑOS	CONCENTRACION PM10
2010	89
2011	91
2012	96
2013	103
2014	102
2015	103
2016	138
2017	132
2018	137

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

De acuerdo al modelo probabilístico en el gráfico N° 4.14 se puede observar los valores proyectados al 2025, en dicho cuadro se ve la tendencia del aumento de la concentración del material particulado respirable PM 10, en un porcentaje del 41% respecto al 2018, superando el estándar de calidad del aire en promedio, siendo peligroso para la población de la ciudad de Arequipa.

GRÁFICO Nº 4.14



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA
ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico Nº 4.14 se aprecia la proyección de la concentración del material particulado respirable PM 10 al 2025 en donde se observa que el aumento de la concentración es aproximadamente tres veces más por encima del estándar de calidad del aire, siendo peligroso su presencia en el aire de la ciudad de Arequipa, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025).

4.5.5 ANALISIS DE LOS DATOS ESTADISTICO DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE PM 2.5

El material particulado respirable presente en la atmósfera de nuestra ciudad en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras) se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 μm o 10 micrómetros (1 μm corresponde a la milésima parte de un milímetro) se las denomina PM10 y a la fracción respirable más pequeña, PM2,5. Estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano.

Además, el tamaño no es la única diferencia. Cada tipo de partículas está compuesto de diferente material y puede provenir de diferentes fuentes. En el caso de las PM2,5, su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diesel, mientras que las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente de las intrusiones de viento del norte de África (polvo sahariano), frecuente en nuestras latitudes.

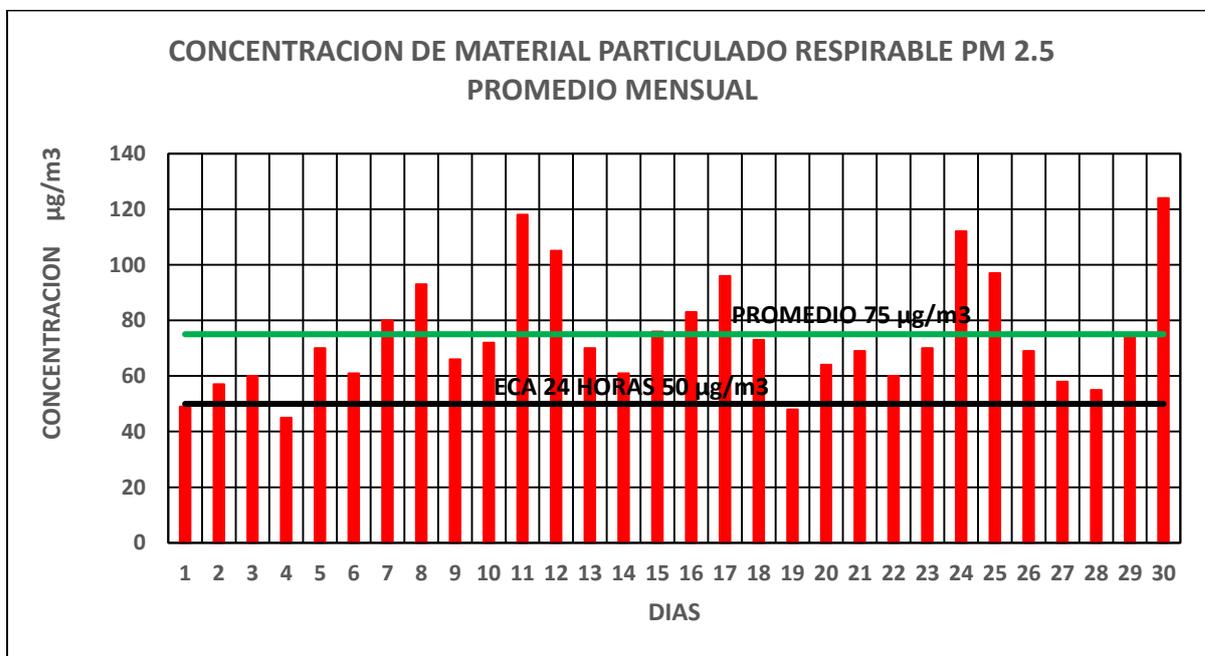
Los efectos que las partículas causan en la salud de las personas han estado históricamente asociados a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis, y más recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular. Los últimos trabajos científicos sugieren que este tipo de contaminación, y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado con incrementos en la morbi-mortalidad de la población expuesta y al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil. En el caso de las PM2,5, su tamaño hace que sean 100% respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Además, estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) que los que componen, en general, las partículas más grandes.

Todo ello hace que la evidencia científica esté revelando que estas partículas PM2,5 tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes, PM10. Asimismo, su tamaño hace que sean más ligeras y por eso, generalmente, permanecen por más tiempo en el aire. Ello no sólo prolonga sus efectos, sino que facilita su transporte por el viento a grandes distancias.

Las partículas PM_{2,5}, por tanto, se pueden acumular en el sistema respiratorio y están asociadas, cada vez con mayor consistencia científica, con numerosos efectos negativos sobre la salud, como el aumento de las enfermedades respiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar. Los grupos más sensibles son los niños, ancianos y personas con padecimientos respiratorios y cardiacos, corren más riesgo de padecer los efectos negativos de este contaminante.

En cuanto a los niveles de la calidad del aire en nuestra ciudad, según la normativa del estado peruano, se puede observar los gráficos N° 4.15 y N° 4.16, que el material particulado respirable PM_{2.5} supera los estándares de calidad de aire, por lo que es preocupante para salud de los pobladores de la ciudad de Arequipa

GRÁFICO N° 4.15



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico N° 4.16 se puede apreciar la concentración de material particulado respirable PM 2.5 durante los 30 días promedio correspondiente a un mes, dichas concentraciones diarias superan los límites permisibles por 24 horas, además se observa que el promedio diario de 75 µg/m³ se encuentra por encima del estándar de calidad del aire correspondiente a los 50 µg/m³ superando hasta en dos veces los fines de mes.

En la tabla N° 4.11 se puede observar los valores de PM2.5 obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año superan el estándar de calidad del aire en promedio anual, siendo desde ya peligroso para la población.

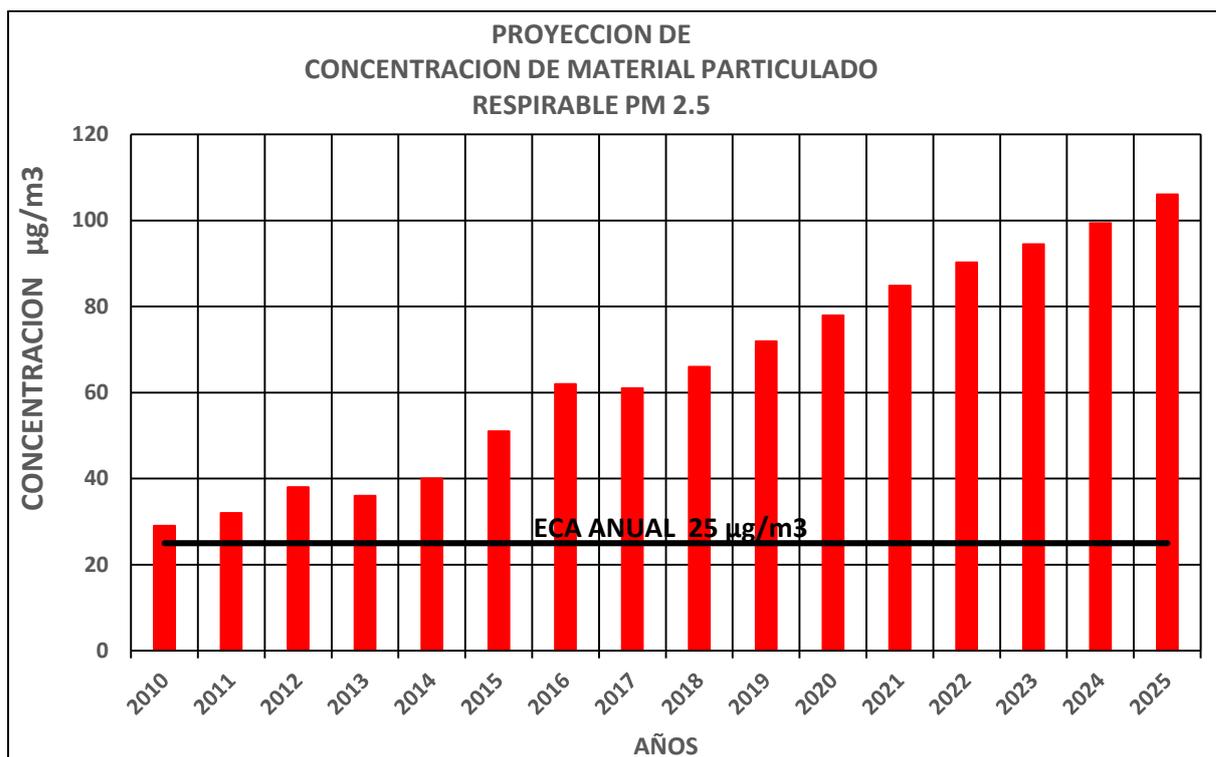
TABLA N° 4.11: CONCENTRACION DE PM2.5 EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑO	CONCENTRACION PM 2.5
2010	29
2011	32
2012	38
2013	36
2014	40
2015	51
2016	62
2017	61
2018	66

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
 ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

Conforme al modelo probabilístico en el gráfico N° 4.16 se puede observar los valores proyectados al 2025, la concentración del material particulado respirable PM 2.5 por año, aumenta considerablemente desde el 2010 al 2025, siendo un problema para la salud de la población arequipeña

GRÁFICO Nº 4.16



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA
ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico Nº 4.16 se aprecia la proyección de la concentración del material particulado respirable PM 2.5 al 2025 el aumento de la concentración es un porcentaje del 61% respecto al 2018 en promedio, observándose que para el 2025 ese supera en más de tres veces el estándar de calidad de aire, siendo peligroso su presencia en el aire de la ciudad de Arequipa, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025).

4.5.5 ANALISIS DE LOS DATOS ESTADISTICO DE PARTICULAS EN SUSPENSION PTS

Se trata de corpúsculos sólidos (o también micro gotas) de tamaño muy pequeño que se encuentran dispersos en el aire. Normalmente su densidad es mucho mayor que el aire, pero su pequeño tamaño unido a posibles cargas electrostáticas u otras causas, hacen que no se depositen en el suelo o tarden mucho en hacerlo, permaneciendo mucho tiempo en suspensión en el aire. Lógicamente cuanto mayores son, antes se depositan.

Aunque las partículas en suspensión tienen formas irregulares, se les asemeja a una forma esférica de manera que se define su tamaño según el diámetro de una esfera que circunscribe la partícula. Se ha convenido en clasificar estas partículas en dos tamaños: PM10 que son partículas de menos de 10 micras de diámetro y PM2,5 que son las de menos de 2,5 micras de diámetro. Para determinar su concentración en la atmósfera se usan los microgramos de partículas por metro cúbico de aire.

Las partículas en suspensión pueden provenir del medio natural o de la actividad humana (antropogénicas).

Las partículas que tienen su origen en el medio natural, provienen en general de la fragmentación de corpúsculos mayores. Su composición puede ser mineral u orgánica. Entre las principales causas cabe citar: el polvo procedente de la descomposición de rocas, las procedentes de la actividad volcánica, el polen, etc.

Las de tipo antropogénico son las más abundantes y las que más nos deben preocupar. Tal vez la fuente más importante sea las producidas por combustiones incompletas (hollín) de los motores térmicos de los medios de transporte, en gran medida de los de tipo diésel, y de la combustión del carbón. Pero no sólo los motores de los vehículos contaminan, la fricción en el frenado ocasiona desgaste en las pastillas de frenos esparciendo partículas en la atmósfera de las ciudades, asimismo el desgaste de los neumáticos significa que éstos se van fragmentando en minúsculos corpúsculos de goma que pululan en el aire. La actividad industrial, las canteras, la minería, el cemento, etc. son otras fuentes relevantes de estas partículas.

En general se puede afirmar que las de origen natural son de mayor tamaño (PM10) que las de origen antropogénico (PM2,5). Este punto es muy importante porque la nocividad de las partículas en suspensión se relaciona más con su tamaño que con su naturaleza.

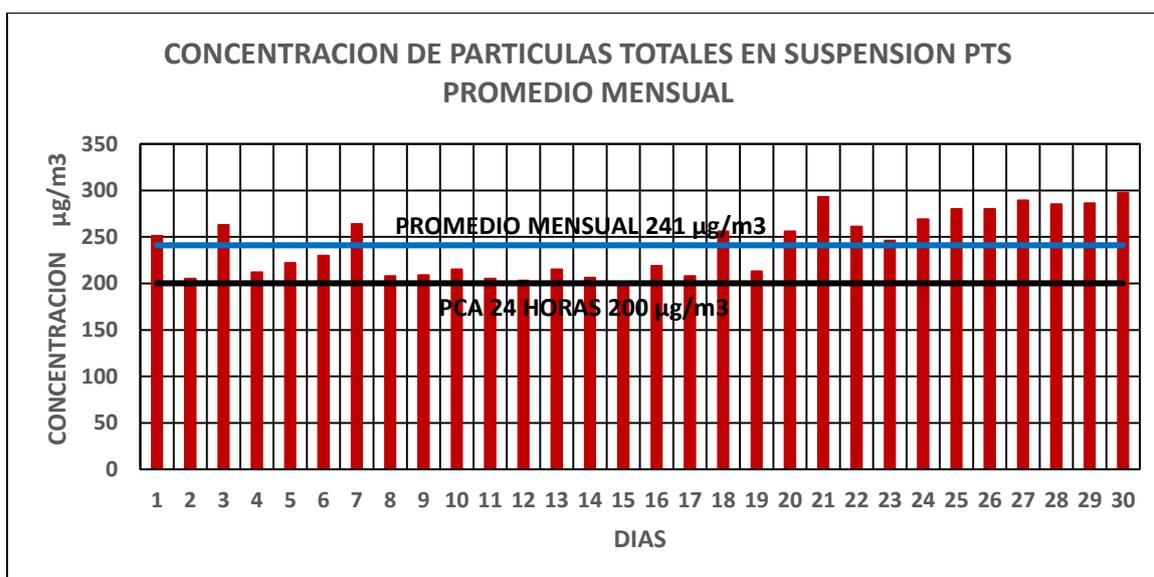
Las partículas en suspensión afectan principalmente a nuestro sistema respiratorio. Cuanto mayor es el tamaño de las partículas más aguas arriba del circuito respiratorio son retenidas, así pues, las de mayor tamaño se retienen en las vías superiores, primeramente, en la nariz, otras son retenidas en la garganta, otras de menor tamaño en los bronquios, otras llegan hasta los alvéolos pulmonares y finalmente las más

finas (0,1 micras) pueden pasar directamente a la sangre sin que nada las haya retenido en su largo trayecto. Por lo tanto, puede afirmarse que cuanto menor es el tamaño de las partículas mayor es su peligrosidad.

Los efectos dependen de la cantidad de partículas inhaladas a lo largo del tiempo y van desde dolencias cardiovasculares, a cáncer de pulmón, enfermedades obstructivas, ictus, etc.

Los niveles de concentración de las partículas en suspensión (PTS) en la ciudad de Arequipa superan los estándares de calidad de aire, tal como se puede observar en los Gráfico N° 4.17 y N° 4.18, en estos gráficos nos indica que la concentración de partículas en suspensión se encuentra por encima de los límites permisibles para un periodo de 24 horas y para un periodo anual

GRÁFICO N° 4.17



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL
ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico N° 4.17 se puede apreciar la concentración de las partículas en suspensión (PTS) diaria durante un periodo de un mes, dichas concentraciones superan los límites permisibles mensuales y diarios

En la tabla N° 4.12 se puede observar los valores de PTS obtenidos mediante el sistema de monitoreo desde el año 2010 al año 2018, proporcionados por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, Área de Ecología Protección del Ambiente y Salud Ocupacional, en dicho cuadro se puede observar que las concentraciones durante el año superan el estándar de calidad del aire en promedio anual, siendo desde ya peligroso para la población.

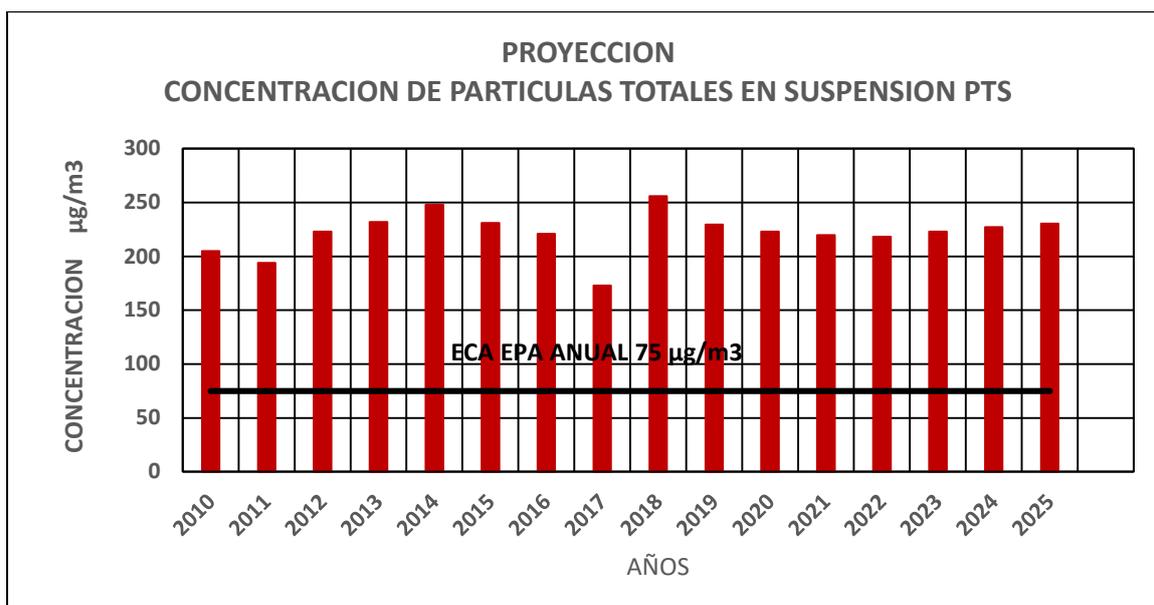
TABLA N° 4.12: CONCENTRACION DE PTS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑOS	CONCENTRACION PTS
2010	205
2011	194
2012	223
2013	232
2014	248
2015	231
2016	221
2017	173
2018	256

FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL. ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

De acuerdo al modelo probabilístico en el gráfico N° 4.18 se puede observar los valores proyectados al 2025, la concentración de las partículas totales en suspensión por año aumenta considerablemente desde el 2010 al 2025, siendo un problema para la salud de la población arequipeña

GRÁFICO Nº 4.18



FUENTE: GERENCIA REGIONAL DE SALUD DE AREQUIPA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL, AREA DE ECOLOGÍA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE Y SALUD OCUPACIONAL – ELABORACIÓN PROPIA
ECA: ESTANDAR DE CALIDAD DE AIRE

INTERPRETACIÓN:

En el gráfico Nº 4.18 se aprecia la proyección de la concentración de las partículas en suspensión al 2025 manteniéndose en un 200% en promedio por encima del estándar de calidad del aire, lo que hace peligroso la presencia de las partículas en suspensión en el aire de la ciudad de Arequipa, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025).

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio del trabajo de investigación, se ha recopilado la información obtenida mediante las estaciones de monitoreo ubicados en la ciudad de Arequipa y se ha procesado estadísticamente mediante el Excel determinando así las respectivas gráficas, para una mejor comprensión de los resultados.

En el presente trabajo de investigación se ha presentado los resultados en orden, partiendo de los datos obtenidos en las estaciones de monitoreo de las principales calles y avenidas de la ciudad de Arequipa y analizando la población afectada por la contaminación de los gases tóxicos emitidos por los motores de combustión interna de los vehículos del parque automotor, con estos resultados se evaluara las pérdidas económicas generadas por la contaminación del aire en la ciudad de Arequipa y posteriormente buscar una mejor alternativa para el desarrollo de la ciudad (ordenamiento del transporte urbano). De igual forma se analizará las proyecciones de las pérdidas económicas tomado como referencia los resultados de los índices contaminantes en el aire, para que las autoridades tomen decisiones a futuro con el objetivo de sostener el medio ambiente y conservar la salud de la población.

5.2 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR GASES EMITIDOS POR MCI EN LA AGRICULTURA

La agricultura es unos de los rubros más afectados con el aumento de la contaminación durante las últimas décadas

De acuerdo a los datos del INEI se puede en el cuadro N° 5.1 se puede observar que cada año los terrenos agrícolas se van convirtiendo en terrenos urbanos, esto debido al aumento de plagas y contaminación del aire que generan pérdidas en la producción agrícola y estas pasan a ser no rentables.

En el Gráfico N° 5.1 observamos en la grafico el aumento de las pérdidas en dólares de terrenos agrícolas proyectado hasta el 2025, dichas perdidas corresponden a la campaña Arequipeña las que cuenta con aproximadamente 80 mil hectáreas y de las cuales se ha perdido 790 hectáreas en los últimos 8 año

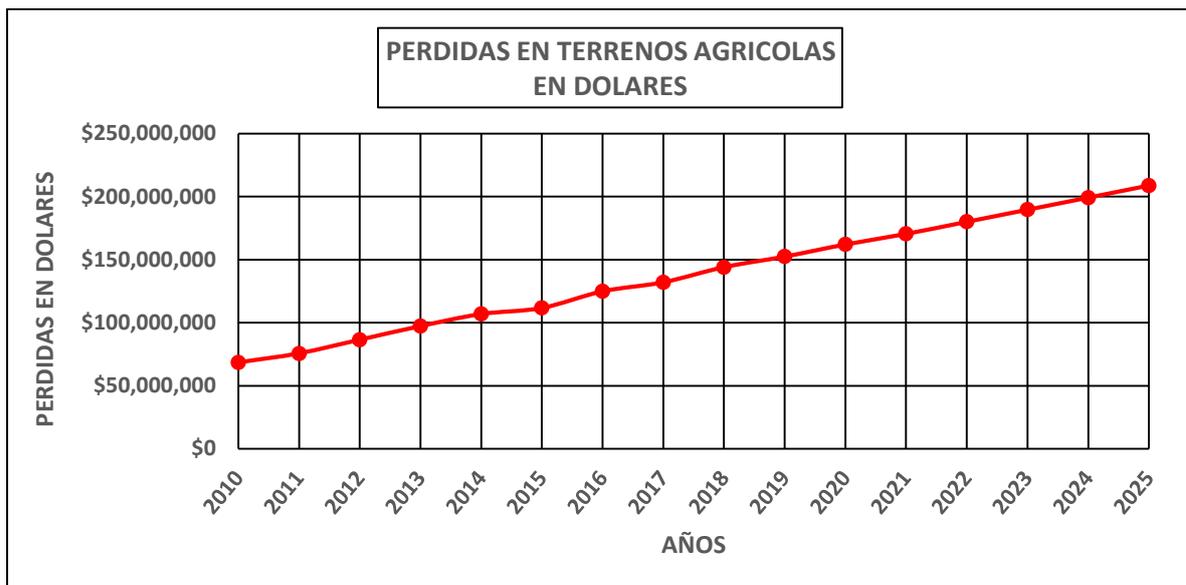
TABLA 5.1

PERDIDAS DE TERRENOS AGRICOLAS

AÑO	PERDIDAS DE TERRENOS AGRICOLAS Ha	PERDIDAS EN DOLARES POR TERRENOS AGRICOLAS (PROMEDIO)
2010	57	\$68,400,000.00
2011	63	\$75,600,000.00
2012	72	\$86,400,000.00
2013	81	\$97,200,000.00
2014	89	\$106,800,000.00
2015	93	\$111,600,000.00
2016	104	\$124,800,000.00
2017	110	\$132,000,000.00
2018	120	\$144,000,000.00
2019	127	\$152,400,000.00
2020	435	\$522,000,000.00
2021	142	\$170,400,000.00
2022	150	\$180,000,000.00
2023	158	\$189,600,000.00
2024	166	\$199,200,000.00
2025	174	\$208,800,000.00

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

GRÁFICO Nº 5.1



FUENTE: Elaboraron propia con datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

INTERPRETACIÓN:

En el cuadro 5.1 y el grafico 5.1 se aprecia que las pérdidas económicas en el sector de agricultura debido a la desaparición de las áreas verde, las que se convierten en urbanizaciones (Arequipa campiña deja de producir productos agrícolas como alfalfa para el ganado, cebolla, ajos, papa, maíz, zanahoria, hortalizas, etc.), dichas pérdidas son generadas por el aumento de los gases contaminantes en el aire, estos gases contaminante son emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa, las perdidas cada año aumenta en \$ 9 360 000 promedio, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025), proyectándose en \$208,800,000 de pérdidas para el año 2025, con una tendencia de aumentar debido al crecimiento de la contaminación del aire.

5.3 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR GASES EMITIDOS POR MCI EN GANADERIA

La ganadería es otro de los rubros que también es afectado por la contaminación del aire ya que está en función de las pérdidas de terreno agrícola por la disminución de pastos alfalfa y forraje, en el cuadro N° 5.2 se puede observar la cantidad de ganado vacuno que cada año se deja de criar o producir debidos al aumento de las pérdidas de terreno agrícola y en gráfico N° 5.2 se observa el aumento de las pérdidas por ganadería en el distrito de Arequipa, hay que tener en cuenta que Arequipa fue una de la principales cuencas lechera del sur del Perú.

TABLA 5.2

PERDIDAS EN GANADERIA

AÑO	PERDIDAS EN GANADERIA	COSTO DE LAS PERDIDAS EN DOLARES
2010	456	552727
2011	504	610908
2012	576	698181
2013	648	785454
2014	712	863029
2015	744	901817
2016	832	1008484
2017	880	1066666
2018	960	1163635
2019	1016	1231514
2020	1080	1309090
2021	1136	1376968
2022	1200	1454544
2023	1264	1532120
2024	1320	1599998
2025	1392	1687271

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

GRÁFICO Nº 5.2



FUENTE: Elaboraron propia con datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

INTERPRETACIÓN:

En el cuadro 5.2 y el gráfico 5.2 se aprecia que las pérdidas económicas en el sector de producción de ganadería (Arequipa campaña deja de producir ganado para producción lechera y carne de consumo), dichas pérdidas son generadas por los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa, las pérdidas cada año aumenta en \$ 75 636 promedio, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025), proyectándose en \$ 1 687 271 de pérdidas para el año 2025, con una tendencia de aumentar debido al crecimiento de la contaminación del aire.

5.4 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR GASES EMITIDOS POR MCI EN INFRAESTRUCTURA

La contaminación del aire por emisión de gases contaminantes de los motores de combustión interna en la ciudad de Arequipa, generan pérdidas en el deterioro de las infraestructuras de las edificaciones de viviendas y centros comerciales, ya que estas deben contar con un mantenimiento periódico para contrarrestar la disminución del tiempo de vida, los materiales de las edificaciones pueden ser afectados por la humedad o la lluvia. Los procesos por los que se deterioran la pintura y se desmorona el concreto es por un origen físico, químico y aun biológico. La contaminación atmosférica afecta a los materiales de cinco formas distintas: erosión, depósito y remoción, ataque químico directo, ataque químico indirecto y corrosión electroquímica. Existen además otros factores que influyen en el ataque de los contaminantes, como la humedad, la temperatura, la lluvia, la luz solar y el viento. Ningún material resiste indefinidamente la acción de los agentes atmosféricos.

Sin embargo, en la actualidad la contaminación atmosférica es el factor más importante del deterioro o envejecimiento prematuro de los materiales de las construcciones. Los contaminantes principales en el proceso de deterioro son los gases como el bióxido de carbono, los compuestos ácidos del azufre y los productos sólidos de la combustión como el hollín o partículas en suspensión.

En el cuadro N° 5.3, se puede observar las pérdidas por el deterioro de las infraestructuras de las edificaciones de viviendas y centros comerciales, debido a la contaminación atmosférica proyectado hasta el 2025, así mismo se puede observar la proyección lineal en el gráfico N° 5.3

TABLA 5.3

PERDIDAS POR MANTENIMIENTO EN INFRAESTRUCTURA

AÑO	COSTO MANTENIMIENTO INFRAESTRUCTURA VIVIENDA EN DOLARES	COSTO MANTENIMIENTO INFRAESTRUCTURA CENTRO COMERCIAL EN DOLARES	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO INFRAESTRUCTURA EN DOLARES
2010	2735544	237120	2972664
2011	2951508	255840	3207348
2012	3023496	237120	3260616
2013	3095484	262080	3357564
2014	3149475	273000	3422475
2015	3203466	277680	3481146
2016	3239460	280800	3520260
2017	3329445	288600	3618045
2018	3419430	296400	3715830
2019	3599400	312000	3911400
2020	3995334	346320	4341654
2021	4499250	390000	4889250
2022	4679220	405600	5084820
2023	5039160	436800	5475960
2024	5219130	452400	5671530
2025	5399100	468000	5867100

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

GRÁFICO Nº 5.3



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

INTERPRETACIÓN:

En el cuadro 5.3 y el gráfico 5.3 se aprecia que las pérdidas económicas en mantenimiento en infraestructura, generadas por los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa (distrito), las pérdidas cada año va aumentando en \$ 192 962 promedio, dentro de un periodo de 15 años (2010–2025), proyectándose en \$ 5 475 960 de pérdidas para el año 2025, con una tendencia de aumentar debido al crecimiento del parque automotor.

5.5 ANALISIS DE LAS PÉRDIDAS GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR GASES EMITIDOS POR MCI EN SALUD

La población que constantemente mantiene contacto con el aire contaminado (policías de tránsito, choferes de combi, cobradores, vendedores ambulantes, etc.) son vulnerables a contraer serias infecciones respiratorias agudas (IRA) como faringitis, rinofaringitis, bronquitis, asma y neumonía. Nuestro estado físico y psíquico también es afectado por la contaminación del aire al que estamos expuestos. Existen multitud de órganos y funciones del cuerpo que pueden verse afectados, entre los que destacan: Enfermedades respiratorias Daños cardiovasculares Fatiga, dolor de cabeza y ansiedad Irritación de ojos y mucosas Daños en el aparato reproductor daños en hígado, bazo y sangre, daños en el sistema nervioso. La población urbana está más expuesta a sufrir los efectos de la contaminación atmosférica, y dentro de este conjunto, son especialmente vulnerables aquellas personas que ya están enfermas, los niños y los ancianos.

En el cuadro 5.4 se puede observar las pérdidas en salud debido a la contaminación del aire, las pérdidas están proyectadas hasta el año 2025, también se puede observar en el gráfico N° 5.4 que dichas pérdidas crecen de manera lineal

TABLA 5.4

PERDIDAS POR SALUD

AÑO	N° TOTAL DE PERSONAS ENFERMAS	COSTO TOTAL DE TRATAMIENTOS PERDIDAS EN DOLARES
2010	1114	71296
2011	1204	79464
2012	1321	92470
2013	1549	116175
2014	1836	150552
2015	2496	232128
2016	2854	279692
2017	3160	341280
2018	4321	496915
2019	5482	663322
2020	5560	704637
2021	5680	766951
2022	6282	898253
2023	6900	1039139
2024	7495	1182135
2025	8049	1324242

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

GRÁFICO Nº 5.4



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

INTERPRETACIÓN:

En el cuadro 5.4 y el grafico 5.4 se aprecia que las pérdidas económicas en salud, generadas por la contaminación de los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor en la ciudad de Arequipa, las perdidas cada año va aumentando en \$ 83 530 promedio, dentro de un periodo de 15 años (2010 – 2025), llegando a \$1 324 242 de pérdidas totales el para el 2025, con una tendencia de aumentar debido al crecimiento de personas enfermas

5.6 ANALISIS DE LAS PÉRDIDAS TOTALES GENERADAS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR GASES EMITIDOS POR MCI

La contaminación del aire por los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna (MCI) del parque automotor en la ciudad de Arequipa debido al modelo insostenible de desarrollo propuesto por nuestras autoridades (desorden) ha llevado preocupantes resultados, los que hasta el momento no se hay tomado en cuenta que es los costos de las pérdidas económicas, afectando la economía básica de la población.

El deterioro de los recursos naturales y los desastres provocados por la contaminación atmosférica, está ocasionando grandes pérdidas, en el sector agrícola, ganadería, infraestructura y salud, cuyo costo llegan a bordear los 200 millones de dólares para el 2025, lo peor es que estas pérdidas se repiten año tras año, y son un gran obstáculo para superar la pobreza en nuestro país.

En la tabla N° 5.5 se puede observar las pérdidas por cada año y estas van en aumento año tras año, sin que ninguna autoridad lo tome en cuenta, dichas pérdidas también se observan en el gráfico N° 5.5 y de estos cuadros se deduce que las pérdidas llegan anualmente a 143'829,920 dólares como promedio anual.

TABLA N° 5.5

PERDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

AÑO	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO INFRAESTRUCTURA PERDIDA EN DOLARES	COSTO TRATAMIENTO SALUD PERDIDAS EN DOLARES	COSTO DE PERDIDAS GANADERIA EN DOLARES	COSTO DE PERDIDAS TERRENOS AGRICOLAS EN DOLARES	COSTO DE PERDIDAS TOTALES
2010	2972664	71296	552727	\$68,400,000	\$71,996,687
2011	3207348	79464	610908	\$75,600,000	\$79,497,720
2012	3260616	92470	698181	\$86,400,000	\$90,451,267
2013	3357564	116175	785454	\$97,200,000	\$101,459,193
2014	3422475	150552	863029	\$106,800,000	\$111,236,056
2015	3481146	232128	901817	\$111,600,000	\$116,215,091
2016	3520260	279692	1008484	\$124,800,000	\$129,608,436
2017	3618045	341280	1066666	\$132,000,000	\$137,025,991
2018	3715830	496915	1163635	\$144,000,000	\$149,376,380
2019	3911400	663322	1231514	\$152,400,000	\$158,206,236
2020	4341654	704637	1309090	\$162,000,000	\$168,355,381
2021	4889250	766951	1376968	\$170,400,000	\$177,433,170
2022	5084820	898253	1454544	\$180,000,000	\$187,437,617
2023	5475960	1039139	1532120	\$189,600,000	\$197,647,218
2024	5671530	1182135	1599998	\$199,200,000	\$207,653,664
2025	5867100	1324242	1687271	\$208,800,000	\$217,678,613

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

GRÁFICO Nº 5.5



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Arequipa

INTERPRETACIÓN:

En el cuadro 5.5 y el gráfico 5.5 se aprecia que las pérdidas económicas generadas por la contaminación de los motores de combustión interna en la ciudad de Arequipa cada año las pérdidas van aumentando en \$ 9 712 128 promedio, dentro de un periodo de 15 años (2010 – 2025), llegando a \$217,678, 613 de pérdidas totales el para el 2025, con una tendencia de aumentar debido al crecimiento poblacional y vehicular, generando pérdidas en infraestructura, salud, ganadería y agricultura.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Luego de haber concluido el trabajo de tesis en el cual se han formulado las hipótesis que están en concordancia con los objetivos, podemos establecer:

PRIMERO: Se determinó las pérdidas económicas debido a los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna (MCI) del parque automotor la ciudad de Arequipa llegando a 217'678,613 de dólares americanos para el 2025 como proyección según Tabla 5.5.

SEGUNDO: Se ha identificado los agentes contaminantes del aire en la ciudad de Arequipa, considerándose el parque automotor como uno de ellos, debido a la emisión de gases tóxicos con material particulado.

TERCERO: Se ha distinguido los tipos de gases y partículas contaminantes para el ser humano emitidos por los motores de combustión interna, considerando los más peligrosos las partículas PM 10, PM 2.5 y las partículas en suspensión que superan los ECAs.

CUARTO: Se ha establecido los cuadros de concentración de gases contaminantes de las principales avenidas y calles de la ciudad de Arequipa, gases emitidos por los MCI del parque automotor.

QUINTO: Se ha reconocido las consecuencias que originan la contaminación del aire por los gases tóxicos emitidos por los MCI en la población de la ciudad de Arequipa, la que se concentra básicamente en pérdidas económicas, tal como se muestra en la tabla 5.5.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

Considerando las conclusiones de la tesis en referencia al problema de la contaminación atmosférico por emisión de gases tóxicos de los motores de combustión interna, se considera que a fin de que la población arequipeña sea beneficiada con el aporte de la investigación, me permito formular las siguientes recomendaciones:

PRIMERO: Se recomienda a las autoridades de la municipalidad provincial, distritales y de salud de la ciudad de Arequipa, considerar las pérdidas económicas debido a los gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna (MCI) del parque automotor la ciudad de Arequipa, las que llegarán aproximadamente a 217'678,613 de dólares americanos para el 2025 como proyección según Tabla 5.5. del presente trabajo

SEGUNDO: Se recomienda realizar un monitoreo más exhaustivo para la identificado los agentes contaminantes del aire en la ciudad de Arequipa, tomando en cuenta el parque automotor como uno de los agentes contaminantes más importantes.

TERCERO: Se recomienda trabajar en nuevas propuestas de solución para el transporte público masivo, como el tren eléctrico y disminuir los gases y partículas contaminantes para el ser humano emitidos por los motores de combustión interna del parque automotor actual, considerando los más peligrosos las partículas PM 10, PM 2.5 y las partículas en suspensión que superan los ECAs.

CUARTO: Se recomienda tomar en cuenta los cuadros de concentración de gases contaminantes de las principales avenidas y calles de la ciudad de Arequipa, para no permitir el aumento de dichas concentraciones año a año, las que generan pérdidas económicas.

QUINTO: Se recomienda tomar en cuenta las consecuencias que originan la contaminación del aire por los gases tóxicos emitidos por los MCI en la población de la ciudad de Arequipa, la que se concentra básicamente en pérdidas económicas, tal como se muestra en la tabla 5.5.

SEXTO: Se recomienda informar a las autoridades sobre las pérdidas económicas generadas por la emisión de los gases toxico de los motores de combustión interna del parque automotor de la ciudad de Arequipa, para que se tome en cuenta las acciones de prevención.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS BASICA

- Abitbol, Pablo. (2011). *La Evaluación como parte integral de la gestión pública en Colombia*. Documento de trabajo de la División Especial de Evaluación, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Colombia.
- Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid (1994). Madrid 21. *Una política ambiental para el Desarrollo Sostenible en la comunidad de Madrid*. España.
- Aldunate, C. (2001). *El factor ecológico*. Las mil caras del pensamiento verde. Colección ecología y medio ambiente. Santiago de Chile: LOM Ediciones.
- Apaza Cabrera R. (2018). Tesis. Impacto de la Contaminación Ambiental en la Salud de la Población de Arequipa Metropolitana en el periodo 2013 – 2017. *Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa - Peru*
- Aledo, A. (2004). El fracaso de la Ecologización del mundo. En Aledo, A.; Alanes, L. y Domínguez, J. A. (eds.). *Ética y Ecología*. San Juan: *Tal Cual- Centro de Investigación y Política Pública, 2004*.
- Aliaga, A. Segundo (1983). *Tratamiento de Datos Estadísticos y Probabilidades*. Universidad Mayor de San Marcos Lima - Peru
- Amaral, S. P. (1993). Auditoría Ambiental: Uma Ferramenta de Gestão Ambiental nas Empresas. *Saneamento Ambiental. n.25, p.40-50*.
- Arandes, J; (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 5, No. 1, marzo*. España. pp. 28-45
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo*. Barcelona: Piados.
- Bermejo, R (2001). *Economía sostenible. Principios, conceptos e instrumentos*, Bilbao: Bakeaz. ISBN 84-88949-41-3.
- Bermúdez Arias K. (2015). Factores topográficos y Meteorológicos de Arequipa, Informe *Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa - Peru*

- Buenrostro, O (2001). Gestión de los residuos sólidos municipales en México. Un estudio de caso. *Revista Ciencia y Desarrollo. Enero/febrero 2001 vol. XXVII, Pp. 12-21*
- Bunge, M. (2000). *La Investigación Científica*. Barcelona: 4ta edición. Ariel.
- Cherni, J. (2003). Perspectiva conceptual y práctica de la modernización ecológica y la globalización. *Revista Theomai, n.7*
- Concejo Nacional del Ambiente (2005). Informe. Indicadores Ambientales Arequipa, Serie Indicadores Ambientales N° 4
- Colby, M. E. (1990). Environmental Management in Development: The Evolution of Paradigms. *World Bank Discussions Papers. n.80.*
- Dulanto Tello, Andrés (2013). *La asignación de competencias en materia de residuos sólidos de ámbito municipal y sus impactos en el medio ambiente*. Tesis. PUCP
- Dunlap, R. (2001) La sociología medioambiental y el nuevo paradigma medioambiental. *Sistema, 162-163.*
- Da Costa Burga, M (2010). Tesis, *Aplicación del Manteamiento Centrado en la Confiabilidad a Motores a Gas de Dos Tiempos en Pozos de Alta Producción*. Pontificia Universidad Católica del Perú
- La Republica (2017). Informe Periodístico. *Campaña o Cemento*. Julio 2017 Arequipa
- García, E. (2004). *Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid: Alianza.
- González López, A. (2004). *La preocupación por la calidad del medio ambiente: un modelo cognitivo sobre la conducta ecológica*. Universidad Complutense de Madrid 2002. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/tesis/psi/ucm-t26479.pdf>
- FAO (2015). Agricultura Mundial. Informe 2015-2030, Organización de las Naciones Unidas (ONU)
- Hernández, R; Fernández, C y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill. Quinta edición.
- KORE, M (1999), "*Directrices para la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire*". OMS

- Llanque Chana J. (2003). Efectos de la contaminación atmosférica en el clima urbano y calidad ambiental de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Magrini, A. A. (1990). *Avaliação de Impactos Ambientais*. In: MARGULIS, S. Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos. Rio de Janeiro, IPEA/Brasília, IPEA/PNUD.
- Maimom, D. (1992). *Ensaio sobre Economia do Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: APED.
- Martínez A. (1994). *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Barcelona: Icaria.
- Mondragón, J. (2005) *Nuevos instrumentos de Gestión Pública y participación ciudadana*.
- Moreano Bohorquez D, Palmisano Patrón A. (2012). Tesis. Nivel de Afectación de la Contaminación Atmosférica y sus Efectos en la Infraestructura del Campus Universitario debido a la Emisión de Partículas PM10 y CO. Pontificia Universidad Católica del Peru - Lima
- Moreno, M (2012). Clima de Arequipa. Municipalidad Provincial de Arequipa. Extraído el 08-08-18 del sitio web <http://www.arequipaperu.org/clima>
- Ministerio de Salud (2018). Informe de Monitoreo de Aire de la Ciudad de Arequipa Área Metropolitana
- Nozoe, N. coord. (1992). *Contabilização Econômica do Meio Ambiente: Elementos Metodológicos e Ensaio de Aplicação no Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1992, p. 63-76. (Série Seminários e Debates)
- Organización Mundial de la Salud (2014), Informe, Las consecuencias de la Contaminación Ambiental
- Parizotto, J. A. (1995). *Gerenciamento Ambiental: Estudo de Caso de Cinco Empresas de Mineração no Brasil*. Rio de Janeiro, CNPq/CETEM, 1995. (Série Qualidade e Produtividade, 5).
- Priano, C. (2012). Informe. *Patologías de las construcciones, Causas de deterioro en estructuras emplazadas en la zona de Bahía Blanca*. Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires - Argentina
- Ramirez, M. (2007). *Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México*
- Rattner, H. Tecnología e desenvolvimento Sustentável: uma avaliação crítica.

- Sociedad Agrícola de Arequipa (SADA- 2012). Arequipa Principal Cuenca Lechera del Sur
- Sánchez, J (2008). *El sistema problemático, los métodos y técnicas para la delimitación e identificación del problema general y los problemas específicos de investigación*. 6 pág.
- Sánchez, L. E. (1995). *The Challenge of Environmental Sustainability in Mineral Sector*. In: First International Symposium on Mining and Development. Campinas, 1995. Proceedings. Campinas/S.Paulo, 1995, p. 150-158.
- Senent A (1973). *Aproximación mediante modelización matemática a la evaluación de las descargas del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena al Mar Menor (Murcia)*. In Cabezas & Senent (Eds): *Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico*. Fundación Cluster-Instituto Euromediterráneo del agua.
- Salazar, S (2015). *La Contaminación del Aire por la Emanación de Gases Tóxicos Producido por Vehículos Motorizados en Lima, Trabajo de Investigación Lima – Peru 2015*
- Savary (2004). La integración de la economía y la ecología en el marco de la sustentabilidad. El Periplo sustentable. Espacio de Análisis y reflexión sobre turismo sustentable. *Revista electrónica de la Universidad Autónoma del Estado de México*. Versión web: <http://www.uaemex.mx/plin/psus/datgen.html>
- Tello, (2000). De la producción limpia a la sostenibilidad ecológica. En *Desarrollo Sostenible: Un concepto polémico*. Servicio editorial Universidad del país Vasco. Pp. 105-125
- Vara Licon M. (2017). Tesis. Contaminación Atmosférica con Material Particulado en la Ciudad del Cuzco y su Comportamiento. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Unchupaico Canchumani, Angel (2010). *Gestión ambiental y tratamiento de residuos urbanos*. Propuesta para el distrito del Tambo a partir de experiencias exitosas 2010. Universidad nacional del centro del Perú.