

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS

COSTOS EXTERNOS DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA

Presentado por:

CÉSAR ARAUJO SÁNCHEZ

Asesor:

Dr. VALENTÍN PAREDES OLIVA

Cajamarca – Perú

2016

COPYRIGHT © 2016 by
CÉSAR ARAUJO SÁNCHEZ
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

**COSTOS EXTERNOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD
DE CAJAMARCA**

Presentado por:

CÉSAR ARAUJO SÁNCHEZ

Comité Científico

Dr. Valentín Paredes Oliva
Asesor

Dr. Isidro Rimarachin Cabrera
Miembro de Comité Científico

Dr. Marcial Mendo Velásquez
Miembro de Comité Científico

Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
Miembro de Comité Científico

Cajamarca – Perú

2016

DEDICATORIA

A mis padres, Olinda y Tomás, por su abnegación y ternura por sembrar en mí la semilla de la investigación. Y a mis hermanos por su cariño especial.

A mi esposa, Emperatriz Rodríguez Nina, por su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi desarrollo profesional y humano.

A mis Hijos, Roció del Carmen, César Anthony, Evelyn Emperatriz y Carmen Estefanie, porque espero haber sido, ser y seguir siendo su digno ejemplo.

“Solo hay un bien: el conocimiento”

“Solo hay un mal: la ignorancia”

Sócrates

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero expresar mi más sincero agradecimiento al asesor de Tesis, Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva, por haber hecho posible que este trabajo se haya hecho realidad, mediante su inestimable labor y constante apoyo y ánimo mostrados a lo largo de las distintas fases de su elaboración.

También deseo agradecer el apoyo incondicional de mis compañeros y amigos de la Escuela de Posgrado, quienes nunca escatimaron esfuerzos cuando he precisado de su apoyo; de manera muy especial a Walter Terán Ramírez y al Dr. Héctor Villegas Chávez, de quienes he podido capitalizar sus valiosas sugerencias y su permanente estímulo moral, verdaderos alicientes para la finalización de este trabajo.

Igualmente, quiero manifestar mis agradecimientos al Ing. José Bardales Escalante, Subgerente de Medio Ambiente de la Municipalidad Provincial de Cajamarca; al Lic. Salvador Valera Salazar, responsable Revisiones Técnicas Vehiculares, por su valiosa ayuda en los muestreos, mediante el uso de los equipos analizadores de gases en los diferentes puntos de la ciudad de Cajamarca, todos ellos de propiedad de la MPC y SENATI. Por su colaboración y apoyo, mis infinitas gracias.

Asimismo, aunque no los mencione individualmente a todos, me plazco sobremanera al mostrar mi gratitud al Comité Científico constituido por el Dr. Isidro Remalachín Cabrera, Dr. Marcial Mendo Velásquez, Dr. Héctor Gamarra Ortiz y el Dr. Valentín Paredes Oliva, de quienes he recibido sugerencias valiosísimas para el mejoramiento de este trabajo relacionado con la investigación medioambiental.

Por último, no quisiera finalizar esta página de reconocimiento sin patentizar el invalorable aliento y estímulo de mi familia y amigos muy cercanos a mi persona, con quienes he podido compartir ideas muy meritorias en torno de esta investigación. Mi manifiesto afecto a mis respetados padres, Tomás y Olinda, a mi dilecta esposa Emperatriz y a mis queridos Hijos.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE ABREVIACIONES	ix
LISTA DE ILUSTRACIONES	x
ANEXOS.....	xii
GLOSARIO.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.4. HIPÓTESIS.....	7
1.5. OBJETIVOS	7
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS	21
2.2.1. Medio ambiente	21
2.2.2. Contaminación	21

2.2.3. Calidad del aire	27
2.2.4. Clasificación de contaminantes	32
2.2.5. Tipos de contaminantes del aire	33
2.2.6. Medición de contaminantes	37
2.2.7. Métodos y análisis empleados.	43
CAPÍTULO III	46
DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	46
3.1. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES.....	46
3.2. TIPO Y DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	47
3.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	47
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.5. TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS	49
3.6. UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO Y MUESTRA.....	52
3.7. MODELO ECONÓMICO	53
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. RESULTADOS DEL MODELO ECONÓMICO.....	61
4.1.1. Costo Social año 2012	61
4.1.2. Costo social año 2013	68
4.2.1. Costo privado año 2012.....	74
4.2.2. Costo privado año 2013.....	78

CAPÍTULO V	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
5.1. CONCLUSIONES	89
5.2. RECOMENDACIONES.	91
5.3. PROPUESTA DE UN MODELO PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA.....	92
LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS.....	98

LISTA DE ABREVIACIONES

CO ₂	Dióxido de Carbono
SO ₂	Dióxido de Azufre
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
PM ₁₀	Material Particulado
PM _{2,5}	Material Participado
Pb	Plomo
CFC	Clorofluorocarbonos
CO	Compuestos Orgánicos Volátiles
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
ECA	Estándar Calidad del Ambiental
MINAM	Ministerio del Ambiente
CONAM	Consejo del Ambiente
EPA	Agencia de Protección Ambiental
DIGESA	Dirección General de Salud
OMS	Organización Mundial de Salud
Ppm	Partes por millón
ug/m ³	Microgramos por metro cúbico
mg/m ³	Miligramos por metro cúbico
SENATI	Servicio Nacional de Adiestramiento en Tributario
MPC	Municipalidad Provincial de Cajamarca

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figuras	Pág.
Figura 1. La curva CM, la curva CMS, el costo marginal externo es la distancia vertical entre las curvas CM y CMS.....	24
Figura 2. Ilustra el costo externo y pérdidas irre recuperables de los contaminantes.	24
Figura 3. Análisis gráfico de la contaminación	26
Figura 4. Fuentes de contaminación de la atmósfera.....	31
Figura 5. Equipos para monitoreo de la calidad del aire	40
Figura 6. Ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Cajamarca.	52
 Tablas	
Tabla 1. Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire	28
Tabla 2. Comparación de los estándares de calidad de aire para diferentes países, ug/m ³ . 29	
Tabla 3. Los equipos de medición de contaminantes	40
Tabla 4. Operacionalización de variables	47
Tabla 5. Consultas médicas y emisiones	61
Tabla 6. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados	62
Tabla 7. Consultas médicas y tipos de emisiones.....	64
Tabla 8. Prueba de significancia para la ecuación y los parámetros	65
Tabla 9. Consultas médicas y emisiones.	68
Tabla 10. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados concernientes a casos de consultas médicas y emisiones.....	69
Tabla 11. Consultas médicas y tipos de emisiones.....	71

Tabla 12. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados de consultas médicas y emisiones.	72
Tabla 13. Emisiones y costos de la contaminación del aire	74
Tabla 14. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados.	75
Tabla 15. Emisiones y costos de la contaminación del aire.	78
Tabla 16. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados de emisiones y costos	79
Tabla 17. Características de los contaminantes.	84

ANEXOS

Pág.

Tablas

Hoja de datos de campo muestreador (Hi Vol PM10)	98
Informe de ensayo de contaminantes –ENVIROLAB-PERU SAC	99
Equipo muestreador de alto volumen (PM10 y PM2,5).....	100
Muestra el material y equipo.....	101
Base datos de resultados y análisis de muestreo de CO 2012 y 2013	102
Base datos de resultados y análisis de muestreo de SO2 2012 y 2013	103
Base datos de resultados y análisis de muestreo de NO2 2012 y 2013.....	104
Base datos de resultados y análisis de muestreo de PM10 2012 y 2013.....	106
Base datos de resultados y análisis de muestreo de PM2,5 2012 y 2013.....	107
Base de datos de concentración de muestreo (CO) 2012 y 2013	108
Base de datos de material de muestreo y equipo en 2012 y 2013	114

Figuras

Figura 1. Muestra obtenida en la Av. Hoyos Rubio	116
Figura 2. Muestra obtenida en Jr. Sucre salida a la costa.....	116
Figura 3. Muestra obtenida en la Plazuela San Pedro	117
Figura 4. Muestra obtenida en la Plazuela Bolognesi	117
Figura 5. Muestra obtenida en la Plazuela Ramón Castilla.....	118
Figura 6. Muestra obtenida en la Plazuela Chontapaccha.....	118
Figura 7. Equipo de Volumen (Hi Vol).....	119
Figura 8. Estación de monitoreo de la calidad del aire.....	119
Figura 9. Muestreador de dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	120

Figura 10. Muestreador de monóxido de carbono (CO.....	120
Figura 11. Muestras etiquetadas y listas para su envío al laboratorio para su respectivo análisis	121
Figura 12. Filtro después del muestreo embalado para su transporte	121

GLOSARIO

Aerosoles. Es una suspensión de partículas finas líquidas o sólidas en el aire. Se dividen en aerosoles primarios y secundarios. Los primarios son partículas relativamente estables que se emiten directamente a la atmósfera (**Muñoz y Moller 2004**).

Contaminación: La contaminación se produce cuando los niveles de concentración de desperdicios son tales, que comienzan a ocasionar efectos nocivos para los organismos vivos (**Van, 1999**).

Combustión imperfecta. Tipo de combustión que se da en vehículos automotores, donde el hidrógeno y el carbono del combustible con impurezas se combinan en incorrecta proporción con el aire, produciendo, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas, o hidrocarburos no quemados.

Combustión perfecta. Tipo de combustión que se da en vehículos automotores, donde el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan correctamente con el oxígeno del aire para producir calor luz, dióxido de carbono y vapor de agua.

Costos externos. Son conocidos como externalidades negativas o efectos externos negativos y se les denomina costos de terceros.

Dióxido de azufre (SO₂): Son gases incoloros que se forman al quemar azufre. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles. Particularmente, carbón que se ha encontrado que los óxidos de azufre perjudica el sistema respiratorio (**Muñoz y Moller, 2004**).

Estándares de la calidad del aire. En general, las normas de calidad del aire se establecen sobre la base de los resultados de estudios toxicológicos y epidemiológicos que evalúan la relación entre la exposición a un contaminante y sus efectos en la salud. Sin embargo, para algunos contaminantes, como las partículas suspendidas, de hecho, se han encontrado impactos en la salud aun a niveles muy bajos (**Pope, 2002**).

Hollín. Se forma especialmente en las combustiones incompletas y con los combustibles diésel. Se observa el hollín en los tubos de escape de vehículos que contaminan el aire con nubes negras.

Humos. Partículas sólidas finas que resultan de la combustión incompleta de materiales orgánicos como carbón, madera y tabaco. Su diámetro oscila de 0,5 a 1,0 μg .

Material particulado: Son partículas en fase sólida o líquida que están dispersos en el aire. Se originan por fuentes naturales, como polvos arrastrados por el viento, cenizas volcánicas, incendios forestales, sal marina y polen, y por fuentes antropogénicas como plantas de generación de energía térmica, la industria, las instalaciones comerciales y residenciales y los vehículos automotores que utilizan combustibles fósiles. (**Muñoz y Moller 2004**).

Monóxido de carbono (CO): Es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina (**Muñoz y Moller, 2004**).

Ministerio del ambiente (MINAM). Es la autoridad ambiental nacional y ente rector del sector ambiental creada con Decreto Legislativo N° 1013 del 14 de mayo de 2008, y tiene por función diseñar establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental (**Andia, 2006**).

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Están constituidos por un grupo de gases, que, a su vez, están conformados por nitrógeno y oxígeno. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los tubos de escape de los vehículos y la quema de combustibles fósiles. El dióxido de nitrógeno daña el sistema respiratorio (**Muñoz y Moller, 2004**)

Polvos. Partículas sólidas pequeñas de 1ª 1000um. Se forman por fragmentación en procesos de molienda, explosiones y erosión del suelo. Se mantienen en suspensión y se desplazan mediante corrientes de aire. (**Inche, 2002**).

Smog. Es una mezcla química de humo y niebla, que es desagradable y nocivo para la salud. Es un tipo de polución atmosférico con concentraciones de óxido de nitrógeno y millones de partículas de plomo, cobre y carbón. Todas estas sustancias tienen origen en las chimeneas de las industrias, los humos de calefacciones y miles de automóviles. (**Inche, 2002**).

Impactos Ambientales del Aire. Son generados por la contaminación del aire producidas por los efectos que recaen sobre la salud de las personas animales y cosechas y otros.

RESUMEN

El problema de la investigación realizada se orientó a determinar la magnitud de los costos externos por la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca. El objetivo del presente trabajo se orienta a establecer la correlación entre el incremento de las emisiones contaminantes en Cajamarca y la elevación del costo de consulta médica e inversión medioambiental en la ciudad de Cajamarca. Como hipótesis se estableció una relación causal entre contaminación del aire y costos externos. Se planteó, además, que los costos externos varían en relación con el tipo de contaminante y tamaño de partícula. La investigación realizada fue descriptiva correlacional, siendo el coeficiente de Pearson (correlación), el instrumento de fiabilidad y de contrastación. La población estuvo constituida por todas las mediciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} durante 2012 y 2013, en la estación de monitoreo de calidad del aire de la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Se obtuvieron 456 muestras de dióxido de azufre (SO₂), durante nueve meses de 2012, y 264 muestras en el 2013. Se concluyó que la concentración de CO y PM_{2,5} sobrepasa los estándares nacionales de calidad del aire; mientras que no se encontró concentración en NO₂ y SO₂. En promedio, los contaminadores en Cajamarca no superan el estándar nacional de calidad ambiental del aire (ECA) en una hora. El costo social para el 2012 y el 2013 fue de 6,36 por cada incremento de emisiones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); lo cual arrojó S/. 353,00. Para los dos años mencionados se observó que por cada S/ 1,00 invertido, las emisiones aumentaron en $0,23\mu\text{g}/\text{m}^3$, hecho contradictorio, puesto que las emisiones deberían haberse reducido.

Palabras clave: Contaminación del aire; monitoreo, infecciones respiratorias agudas, problemas ambientales, tamaño de partícula.

ABSTRACT

The problem of research, was aimed at determining the extent of external costs for air pollution in the city of Cajamarca. The aim of this work is aimed at establishing the correlation between increased emissions in Cajamarca and the rising cost of medical consultation and environmental investment in the city of As hypothesized a causal relationship between air pollution and external costs is established, It is considering also that external costs vary in relation to the type of pollutant and particle size. The research was correlational descriptive, being the Pearson coefficient (correlation), the instrument reliability and crosscheck. The population consisted of all measurements of carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂), particulate Matter PM₁₀ y PM_{2,5}, during the years 2012 and 2013, in the monitoring station air quality of the Provincial Municipality of Cajamarca. 456 samples were obtained Sulfur Dioxide (SO₂), for nine months of 2012, and 264 in 2013. It is concluded that the concentration of CO and PM_{2,5} exceed national air quality standards, while not found concentration in NO₂ and SO₂. On average polluters in Cajamarca not exceed the national standard of environmental air quality (ECA) in an hour. The social cost for 2012 and 2013 was 6.36 per by increased emissions (μg/m³) which threw S / 353.00. For these two years it shows that for every S/1.00 invested, emissions increased by 0,23μg/m³, contradictory fact that emissions should be reduced.

Keywords: Air pollution; monitoring, acute respiratory infections, environmental problems, particle size.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica o contaminación del aire es una de las maneras más importantes de degradación del medio ambiente. Se la define como las emisiones de sustancias peligrosas a tasas que sobrepasan la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos, depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire (**Romero, 2016**).

El impacto de la contaminación del aire en la salud de las personas se ha estudiado extensivamente, en especial en áreas metropolitanas, donde los impactos varían según la presencia o ausencia de los contaminantes y sus fuentes, donde las emisiones son generadas principalmente por el tráfico vehicular y las actividades productivas (**Cerda, 2008**).

En el Perú, la contaminación del aire se produce por la emisión de humos, aerosoles, ruidos, malos olores y radiación atómica. Los vehículos motorizados, las industrias, especialmente fundiciones y procesadoras de pescado, y las quemas de bosques, pajonales y basuras, emiten al aire ingentes cantidades de humo, que no constituyen un contaminante visual y no enturbian la atmósfera, pero que también contienen sustancias tóxicas y partículas que afectan a la salud humana. El humo de los vehículos motorizados contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y plomo. El CO es altamente tóxico para los animales y el ser humano, porque al ser inhalado bloquea el transporte de oxígeno en la sangre y produce anemia (**Perú Ecológico, 2016**).

En 2012, la ciudad de Cajamarca presentaba un exceso de parque automotor, quema de combustibles fósiles, en especial gasolina, diesel y aceites, que son fuentes de

diversas emisiones como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado (PM₁₀ y PM₁₂).

Las emisiones de gases contaminantes pueden producir problemas respiratorios, inflamación pulmonar, disminución de la función pulmonar y de la resistencia a las infecciones respiratorias; asimismo, posee efectos cancerígenos, afecciones en los ojos, garganta, irritación bronquial, dolores de cabeza, náuseas y vómitos.

Las afecciones a la salud mencionadas constituyen costos externos (externalidades negativas) que se cargan sobre la población, manifiestas en forma de daño a la salud y económico, en los costos de consulta y tratamiento de las enfermedades. La importancia de este trabajo radica en el hecho de que proporcionará datos referentes a cuánto se incrementan los costos externos (consulta y de inversión) por el aumento de las emisiones contaminantes del aire en Cajamarca. De esta manera, nos permitirá proponer medidas correctivas para la solución del problema de la contaminación del aire en nuestro medio.

La hipótesis es una herramienta principal para relacionar la magnitud de los costos externos, costos sociales y costos privados de la contaminación ambiental del aire que varían en el tipo de contaminante y tamaño de partículas.

El objetivo general del trabajo tiene incidencia en la estimación de la contaminación del aire en los costos externos, sociales y privados. El contenido capitular del trabajo quedó dividido de la siguiente manera:

Capítulo I. Aquí se trata sobre la problemática, justificación del problema, hipótesis y objetivos.

Capítulo II. Se aborda los siguientes tópicos: marco teórico. Antecedentes y bases teóricas.

Capítulo III. Trata del diseño de contrastación de la hipótesis, unidad de análisis, universo, población y muestra, diseño experimental y modelo econométrico.

Capítulo IV. Aborda los resultados de las mediciones del monóxido de carbono (CO) para los años 2012 y 2013; resultados del muestreo del dióxido de azufre (SO₂) para los años 2012 y 2013; resultados del muestreo del dióxido de nitrógeno (NO₂) para los años 2012 y 2013; resultados del muestreo del material particulado (PM₁₀) para los años 2012 y 2013; resultados del muestreo del material particulado (PM_{2,5}) para los años 2012 y 2013; asimismo, los resultados de la operacionalización del modelo econométrico y discusión de resultados.

Capítulo V. Comprende las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1.1. Problemática

El presente trabajo de investigación pone en discusión los efectos económicos que generan los costos de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca. Asimismo, examina los costos externos de las empresas que contaminan el medio ambiente involucrado, lo que reporta a la calidad de aire del lugar donde habita, como consecuencia de los efectos de salud emitidos por las emisiones primarios contaminantes. La ciudad de Cajamarca está ubicada a una altitud de 2750 msnm. Se caracteriza por el desarrollo de la actividad minera. Durante el desarrollo de la Civilización de los Incas se practicó la metalurgia (labraron el oro y la plata), y a la invasión española se cambió por la minería de socavón, primero, y luego a tajo abierto y de manera intensiva. La ciudad de Cajamarca presenta elevados niveles de contaminación, a pesar de la protección brindada a la población vulnerable previniendo riesgos y evitando la exposición excesiva a los contaminantes que generan daños a la salud y al medio ambiente. El ámbito político local no ha

favorecido a la población cajamarquina. Las emisiones de gases contaminantes producen problemas a las vías respiratorias, irritación de los ojos, garganta, bronquios, y los efectos más marcados en el ser humano son enfermedades que causan dolores de cabeza, náuseas y vómitos, debido a las emisiones de combustibles fósiles como diésel y gasolina. La relación que existe entre la salud, el medio ambiente y el desarrollo es evidente, y los esfuerzos que se realizan en el mundo, en el Perú y la región para integrar estas variables son significativos; sin embargo, la contaminación del aire es una de las causas del deterioro ambiental que se presenta en todos los ámbitos. La ciudad de Cajamarca es afectada en las zonas más cercanas a la fundición donde las actividades humanas de extracción metalúrgica minera de Yanacocha, deteriora la calidad del aire, y, en consecuencia, la salud humana. El problema se da en el ámbito local y luego en el regional. La contaminación origina la emisión de gases y otras sustancias tóxicas que son generados y transportados por los vientos. Las empresas tienen un rol de prevenir y reducir al mínimo la contaminación y la generación de costos negativos. Mediante esta nueva orientación se realiza la determinación de los costos sociales y privados dentro de las nuevas estrategias para cuantificar costos locales y regionales y determinar una demanda a estos problemas por parte de los actores involucrados como organismos de política, centros de investigación y de formación. Tal como se puede inferir, la complejidad del problema obliga a llevar a efecto el presente tema de investigación, con una metodología que permita la estimación de los costos externos de la ciudad de Cajamarca (MPC-2008).

La contaminación origina costos que son externos al contaminador. Estos se manifiestan en la forma de daños a la salud humana, daños materiales, impactos ecosistémicos, pérdidas en la productividad, disminución de los valores de las propiedades y de diversas otras formas para la sociedad. Sin la intervención del

gobierno, los contaminadores rara vez tienen un incentivo para controlar la contaminación provocada por sus actividades. Políticas de gobierno eficientes internalizan los costos externos de la contaminación: hacen que los contaminadores se comporten como si ellos mismos, fuesen los que soportaran los costos de la contaminación (**Crespo 1996**).

La contaminación producida por el transporte público se debe al exceso de vehículos automotores y por la quema de combustibles fósiles en especial la gasolina, el diesel y el aceite. Los temas ambientales son muy delicados y muy complejos, y en los últimos años han ganado la importancia merecida en todo el mundo. Ahora más que nunca se está analizando el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente y, como consecuencia, en la salud de las personas. En el ámbito local, estos conceptos podrían orientar las políticas del gobierno municipal para minimizar los efectos perjudiciales de sus actividades sobre el medio ambiente, creando fuertes incentivos para que desarrollen sus capacidades proporcionando información relacionada con situaciones que se presentan. Se considera que una forma de contribuir al mejoramiento del medio ambiente, es plantearse las interrogantes: ¿cuánto cuesta contaminar?, ¿cuánto cuesta dejar de contaminar? (**Galle 2002**).

La problemática exige trabajar en la búsqueda de medidas orientadas a mitigar la contaminación del aire y reducir los riesgos para el ambiente y la salud de la población. Y, con esta finalidad, se debe involucrar en el trabajo a las empresas de transporte, a las autoridades, a las instituciones implicadas, a la población y a Yanacocha en general.

1.2. Formulación del problema

Problema general

- ¿Cuál es la magnitud de los costos externos, costos sociales y costos privados de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características y el nivel de contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca?
- ¿Cuál es el nivel de impacto de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca?
- ¿Cuáles son los costos externos para reducir la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca?

1.3. Justificación del problema

Se considera que el medio ambiente cumple tres funciones trascendentales: 1) fuente de recursos necesarios para el proceso productivo; 2) servicios relacionados con el medio ambiente como la belleza natural y aire limpio, y 3) depósito de desechos y residuos generados en las actividades de producción y consumo. Desde el punto de vista económico, es necesario impulsar un desarrollo sostenible que considere la satisfacción de las necesidades de generaciones.

Esta investigación contribuye al conocimiento científico porque nos permite aportar datos sobre costos externos de contaminación atmosférica que se incurre en Cajamarca. Además, al contar con información concreta sobre efectos, permitirá desarrollar propuestas específicas para regular de manera óptima el nivel de contaminación en la ciudad. Con esta investigación se complementan las investigaciones sobre salud y contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca y

sobre los costos en los que incurren las personas y las instituciones públicas para tratar estos problemas. Resulta importante determinar el costo real en la contaminación del aire, pues, solo de esta manera se pueden proponer soluciones óptimas a este problema, lo que no debe ser de ninguna manera subestimado. El diseño de una metodología apropiada a nuestra realidad será de gran ayuda en futuras investigaciones y como aporte para determinar los efectos de la actividad económica en otras ciudades con características similares. La tesis se justifica desde que usa técnicas econométricas e instrumentos de recolección de datos que permite validar su uso, así como el desarrollo del conocimiento técnico o tecnológico.

La justificación práctica aborda variables como emisiones y consultas médicas es tratar y conocer el turno de la salud que es representado por el número de consultas médicas en aras de futuras propuestas para mitigar las emisiones y mejorar la calidad de vida de la población. La investigación posee esta justificación institucional, dado que las instituciones públicas como Minsa, Minedu, MPC, MTC y pueden justificar a través de los resultados obtenidos a base de propuestas soluciones y políticas públicas en aras de mejorar el bienestar de la población.

1.4. Hipótesis

La magnitud de costos externos, costos sociales y costos privados de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca varían en relación en el tipo de contaminante y tamaño de partículas.

1.5. Objetivos

Objetivos General

Estimar los costos externos, costos sociales y privados de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca

Objetivos específicos:

- Determinar el nivel y las características de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca.
- Como determinar el impacto de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca.
- Determinar los costos para reducir la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En esta etapa se recopiló información para confeccionar las recetas teóricas para la investigación; es decir, el momento necesario de establecer él cómo, el qué y de qué manera recoger información, para luego analizar, y, aproximadamente, cuánto tiempo demandaría este trabajo. Por tanto, se evidenciaron los costos externos que ordenan la investigación, esta que describe los aspectos de la contaminación de la calidad del aire y sus conceptos fundamentales de los contaminantes prioritarios, el marco conceptual, teorías de los costos externos, sociales y privados y los contaminantes como el monóxido de carbono, material particulado, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno; pues, el problema planteado en la investigación invita a la revisión de conceptos fundamentales de costos y contaminantes que afectan la salud de la población de ciudad de Cajamarca.

En cuanto a los antecedentes, se contó con información de contaminantes primarios con información limitada, la cual estuvo respaldada por estudios teóricos relacionados con el problema planteado sobre costos externos de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca. Esto fue conveniente, porque existía un campo del conocimiento para el investigador y, mediante el descubrimiento de elementos del pasado, ayudaron a efectuar un trabajo metodológico sano.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Todo trabajo de investigación deberá estar soportado por estudios teóricos relacionados con el problema planteado sobre costos externos de la contaminación ambiental en la ciudad de Cajamarca. Estos estudios son muy convenientes, porque le brinda un mayor campo de conocimientos para el investigador y, mediante el

descubrimiento de elementos del pasado, se puede efectuar un mejor trabajo metodológico posterior.

El transporte automotor en la ciudad de Lima consume más del 90% de combustibles fósiles en forma de petróleo o gasolina. La contaminación atmosférica de esta actividad tiene un impacto visible y significativo; las altas congestiones de tráfico coinciden con las altas concentraciones de emisiones ocasionadas por los vehículos. Las emisiones de gases y humo particulado se concentran en el funcionamiento de motores de combustión interna como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado (PM₁₀) **(Maltoni y Scarnato, 1977)**.

Señala que de acuerdo con la *American Lung Association*, la contaminación del aire cuesta anualmente a los Estados Unidos, solo en atención de la salud, por lo menos, 150 mil millones de dólares, y por pérdida de la productividad en el trabajo, cerca de 100 mil millones de dólares. De esa cantidad se deben a la contaminación del aire de manera genérica, y 40 millones se deben a la contaminación del aire por los vehículos de motor.

Un análisis reciente de la Agencia Europea para el medio ambiente reveló que entre en el período 70-94, el 80% de las 105 ciudades europeas estudiadas sobrepasaba los niveles establecidos por la organización mundial de la salud (OMS), al menos en un agente contaminante. En algunas de las ciudades mayores de China, los niveles de partículas de suspensión son seis veces mayores que los determinados en las directrices de la OMS. El Banco Mundial ha estimado que la exposición a unos niveles de partículas superiores a los indicados por la OMS es la causante de,

aproximadamente, entre el 2% y el 5% de todas las muertes en las áreas urbanas del mundo (Tyler, Miller 1994).

El análisis del incremento de la emisión de gases y humos de material particulado por vehículos automotores de transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Cajamarca realizado en 2003, se llevó a efecto mediante un convenio entre la Municipalidad Provincial de Cajamarca y el Senati, con el fin de realizar un proyecto piloto demostrativo ambiental donde se planteaba determinar el incremento de la emisión de gases y humos particulado, según el tipo de combustibles utilizado de vehículos automotores de transporte de pasajeros en la modalidad de camiones rurales y autos.

La máxima contaminación que se produce en el aire es originada por la emisión de gases y humos particulado de vehículos motorizados que brindan servicio de transporte urbano de personas en la modalidad de combis y mototaxis dentro del centro histórico de la ciudad de Cajamarca. Estos vehículos motorizados, al recorrer un promedio de 15 000 km. al año, despiden al medio ambiente por día 1,5 kg de monóxido de carbono, 300 g. de material particulado expulsado a través de los tubos de escape y sin quemar. Si consideramos la totalidad del parque automotor significan grandes cantidades de sustancias tóxicas mezcladas en el aire (autos, camiones, mototaxis y otros, etc.). Dichas sustancias tóxicas se acumulan hasta alcanzar altos niveles de toxicidad existiendo. Consecuentemente existe el riesgo de sufrir un accidente vital en lugares por donde circula el mayor número de unidades antiguas que no están afinadas ni reparadas (García 2006).

En la ciudad de Cajamarca, los puntos que mayor contaminación presentan son: la Plazuela Bolognesi, la intersección de los jirones Junín y Cruz de Piedra, el

cruce de los jirones Guillermo Urrelo y Mario Urteaga (frente al ex local del hospital regional), la Av. Independencia (salida a la costa), el cruce de Jesús y los alrededores de los mercados y paradas de la ciudad de Cajamarca. Muchas de las unidades motorizadas no superan las revisiones técnicas; en los otros casos, los motores solo son afinados para superar las evaluaciones exigidas por ley. A pesar de las ordenanzas ediles, se continúan anunciando espectáculos con altavoces, en unos casos, o, en otros casos, los recicladores informales utilizan megáfonos muy estridentes para anunciarse. Estos son los factores más graves de contaminación en el ambiente. Se han entregado unas papeletas de sensibilización a los conductores, a fin de que tanto hombres y mujeres que conduzcan tengan un mayor cuidado al momento de utilizar el claxon; asimismo, que mantengan afinado el motor de su vehículo, eviten el volumen ensordecedor de su equipos de sonido o radios. Estas acciones concretas buscan frenar estos fenómenos anómalos de nuestra ciudad. **(Senati ,2006)**.

Según el estudio de impacto ambiental realizado por American College of Ocupacional and Environmental, mediante una entidad que empleó el método retrospectivo-descriptivo para revisar historias clínicas de pacientes atendidos en el hospital Regional de Cajamarca, durante el período 1996-2001, cuyo objetivo fue determinar enfermedades relacionadas con la contaminación ambiental, se concluyó que existe una correlación estadísticamente significativa entre el crecimiento industrial de la ciudad y el aumento de enfermedades de la población afectada por la contaminación ambiental en un 50%; es decir, según se infiere de las consultas médicas afectadas **(León y Jardch, 2001)**.

Según el inventario de emisiones de aire elaborado por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, el monóxido de carbono (CO) es el mayor contaminante de la atmósfera en la ciudad de Cajamarca, aun total de 1 250,79 toneladas por año; lo

que arroja el 32,81% del total de emisiones de fuentes fijas (fábricas ladrilleras, 400 unidades pertenecen al centro poblado El Cerrillo), con el 59,74% del total de emisiones de fuentes áreas de la cuenca. Las fuentes fijas (fuentes puntuales), constituidas por ceramistas dedicados a la producción de utensilios de arcilla (combustión de ceramios con llantas, en las zonas de Mollepampa, Cruz Blanca) generan un aporte de más del 60% de partículas sólidas, en comparación con las fuentes áreas, principalmente, ladrilleras, pollerías de carbón, de leña, de llantas y diésel. A continuación se presenta un registro de unidades móviles en un punto crítico, en la salida del Jr. Sucre (MPC, 2010).

El grupo técnico local de gestión de calidad del aire ha sido establecido en 2005 por la Municipalidad Provincia de Cajamarca, ante la amenaza eventual de contaminación por el aumento de fuentes de emisión, como medida de protección de la salud humana, relacionado con la calidad del aire en la ciudad de Cajamarca, de acuerdo con el estimado como volumen de aportación de contaminantes por fuentes de emisión.

Los valores de las muestras efectuadas y el análisis de los impactos directos e indirectos en la salud pública manifiestan la calidad del aire de la ciudad de Cajamarca. Las emisiones de gases partículas contaminantes producidas por la combustión de combustibles fósiles como gasolina y diesel, así como la antigüedad de los vehículos, su escaso mantenimiento, la calidad de combustibles, la alta congestión vehicular, el desorden del tránsito vehicular y la proliferación de mototaxis, esta que representa la mayor población en las principales arterias de la ciudad de Cajamarca, contribuyen a una alta emisión de gases tóxicos, como el monóxido de carbono. El parque automotor es la principal fuente de todos los contaminantes del aire en la ciudad de Cajamarca. El 80% de toda la contaminación atmosférica circula en

Cajamarca; 35 mil unidades móviles no se encuentran registradas por una entidad, con excepción de las partículas sólidas en suspensión, donde las fuentes fijas tienen una participación elevada (MTC, 2008).

En la ciudad de Lima Metropolitana, como muchas grandes ciudades del mundo, se vienen presentando problemas de contaminación atmosférica, debido al elevado número de vehículos automotores, los cuales son fuente principal de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂). Estas emisiones contaminantes son la causa de múltiples resquebrajamiento de la salud de la población.

Las características fisiográficas favorecen la acumulación de emisiones de partículas de alta densidad. Este fenómeno explica, en cierta forma, el deterioro de la calidad del aire de Lima Metropolitana que ha experimentado en los últimos años. Las concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado exceden los valores mínimos exigidos por la Organización Mundial de la Salud. El valor estándar de la OMS para el NO₂ es de 40 µg/m³, y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) es de 100 µg/m³. En Lima Metropolitana, las mediciones elaboradas por la DIGESA en la Estación Conaco (Lima Centro), en el período 1997-2001 se mostró que el promedio anual de la concentración de NO₂ estuvo entre 80 y 250 µg/m³ (Mage, 1992).

En el año 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó estudios de comparación de los distintos países en el Mundo. Se concluyó que Asia y Latinoamérica tienen concentraciones mayores de material particulado (PM₁₀). Asimismo, Europa y Norteamérica, debido al crecimiento de su producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad con respecto al dióxido de azufre (SO₂), se

encontró que hay altos niveles de concentración en China, debido al incremento del carbón, como fuente de energía y algunas ciudades de África que presentaron concentraciones medias de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. El dióxido de nitrógeno es uno de los contaminantes con más incidencia en el mundo. La principal causa de emisión está dada por las fuentes móviles; aproximadamente, 55% de las emisiones de un centro urbano corresponden a este. En las ciudades de Sao Paulo y México de Latinoamérica se presentan concentraciones de $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $85\mu\text{g}/\text{m}^3$ seguidos por Belling con $65\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hoy en día, la norma de límite es de $24\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas; pese a que se recomienda una concentración máxima de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio anual (**OMS, 2005**).

Mediciones realizadas en las emisiones de gases de 3 248 vehículos del parque automotor en circulación en Lima dieron como resultado las siguientes conclusiones: De los vehículos inspeccionados el 75% corresponde al año 90; sin embargo, todavía se encuentran vehículos de los años 60 en circulación. De los 2 144 vehículos de gasolina medidos, el 16% sobrepasa las $600\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso de los vehículos de combustible diesel, de los 1 104 vehículos monitoreados, el 67% sobrepasa el valor de ECA, $3,8\mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto de la cantidad y antigüedad de transporte público urbano (ómnibus, microbuses, y camiones rurales), en lima, los vehículos autorizados tienen un promedio de 16 años (22 314 unidades) y en el callao el transporte público tiene una antigüedad de 12 años (1 540 unidades con convenio y 5 705 unidades sin convenio). Por último, se estima que existen 23 000 unidades informales con una antigüedad desconocida. Asimismo, cabe mencionar, de una manera comparativa, que en algunas ciudades latinoamericanas (Bogotá, Curitiba, Sao Paulo, Quito y Santiago de Chile) la antigüedad promedio de flota está entre 3,3 y 14 años, y el número de vehículos de transporte público, por cada mil habitantes oscila entre 0,6 a 3,7. En Lima, esta cifra se eleva a 7 vehículos por cada mil habitantes (**M T C, 2001**).

La Agencia Ambiental Europea implementó un sistema de costos por contaminación del aire para el transporte de carga. Dentro de las especificaciones se indican los sitios urbanos intermunicipales o carreteras para cada uno de los países de la Unión Europea. Realizamos una propuesta de modernización tecnológica de peajes que se utilizaban anteriormente para cobros en carreteras y que también se pudieran adecuar al cobro por contaminación.

En Estados Unidos, los costos por contaminación son más populares para descargas en cuerpos de agua que para emisiones. Sin embargo, desde 1990, propuesto por el congreso de este país, se acordó un costo a las industrias para permisos de emisión; cada uno de los estados tendría potestad para imponer sus impuestos por contaminación, y se acordó que el monto mínimo para contaminante, excepto al monóxido de carbono, sería de S/. 25,00 por tonelada. Este monto sería ajustado de acuerdo con la inflación (**EPA, 2001**).

En Alemania, los cargos por contaminación los implantó la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCED), y los dividió en fuentes fijas y fuentes móviles. Según la cantidad de toneladas emitidas por un contaminante determinado se establecería el costo que debían pagar por contaminante.

La contaminación del aire en Colombia es causada por el uso de los combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones fijas o áreas. El 41% del total de las emisiones se generan en las ciudades del país, donde Bogotá, Medellín y Cali, las mayores emisiones de material particulado menor de 10 micras (PM₁₀), dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre, son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motociclistas y otros, etc.). Con frecuencia las

concentraciones de estos contaminantes superan los estándares ambientales de calidad del aire (EEA, 2005).

Para medir la relación entre consultas por problemas respiratorios y contaminación por material particulado se emplearon registros diarios para PM_{10} y $PM_{2.5}$ de marzo del 2008 a diciembre del 2009. Estos datos fueron suministrados por Redaire. Los promedios de PM_{10} se tomaron de las estaciones de medición automática para Medellín ubicadas en el parque de San Antonio, el Politécnico Jaime Isaza Cadavid y la Universidad Nacional (Facultad de Minas). Para el $PM_{2.5}$, el promedio se obtuvo de las estaciones automáticas del edificio Miguel de Aguinaga y de El Poblado. Los datos sobre las consultas externas y por urgencias diarias por problemas respiratorios en Medellín fueron suministrados por Metro Salud. Las enfermedades tomadas son las que correspondían a los grupos de asma, bronquitis, infecciones, rinitis y otras enfermedades. Para este análisis se emplearon modelos de series de tiempo. Se estimaron diez modelos por mínimos cuadrados ordinarios con corrección de White para ajustar problemas de heterocedasticidad (causada posiblemente por la amplitud de las variables respecto de su media o por la omisión de variables), con lo cual los coeficientes se pueden emplear para hacer inferencia estadística: cinco modelos con consultas por enfermedades respiratorias y PM_{10} y cinco modelos con consultas por enfermedades respiratorias y $PM_{2.5}$. Para la estimación de los modelos se empleó el paquete estadístico (Gaviria, 2011).

Los modelos de correlación que buscan validar la relación positiva entre contaminación por material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y cada uno de los grupos de enfermedades se llevaron a efecto con el fin de suavizar la amplitud de la varianza para las series de tiempo, y para facilitar el análisis, las variables se transformaron

en logaritmos (con lo cual el modelo estimado es log-log). La representación del modelo es la siguiente:

$$\ln y_t = c + \beta_1 \ln x_t + \beta_2 \ln Prep_t (-7) - \beta_3 dsab_t - \beta_4 ddom_t + AR(6) + \mu_t$$

Los daños causados a la salud por la contaminación atmosférica han sido los efectos más estudiados. Se ha encontrado que pueden representar un gran costo para las sociedades debido al aumento creciente de consultas médicas, principalmente. La relación contaminación-salud es directa y evidente en las estadísticas de salud. La contaminación atmosférica por procesos de combustión es el principal causante del aumento de enfermedades respiratorias agudas (IRA) en Santa Fe de Bogotá, pues, representa la primera causa de consultas médicas por morbilidad para niños de 1 a 4 años, y la segunda en importancia para niños de 5 a 14 años (CEDE, 2015).

Basado en la literatura, se estimó un modelo (función Dosis-Respuesta) de series de tiempo en primeras diferencias y con rezagos, cuya variable dependiente estubo constituida por las CM por enfermedades respiratorias, mientras que las independientes, el nivel PM_{10} , la temperatura mínima, promedio y máxima, la humedad y las consultas por enfermedades crónicas. El modelo fue estimado usando el procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), tal como se expresa en la ecuación siguiente:

$$(7) CM_t = CM_t(CM_{t-\delta_{cm}}, PM10_{t-\delta_{PM10}}, T_{t-\delta_T}, H_{t-\delta_H}, CR_{t-\delta_{CR}}) + \varepsilon_t$$

Donde CM_t = CM por enfermedades respiratorias momento t, $PM10_t$ = nivel PM_{10} en día t; T_t = temperatura en momento t; H_t = humedad momento t; CR_t =

enfermedad respiratoria crónicas momento t ; y ε_t = error aleatorio. La serie temporal disponible de emisiones es día por medio, donde los rezagos de las respectivas variables (δ) hay que multiplicarlos por dos para llevarlos a número de días. Teniendo en cuenta que en la actualidad no existe evidencia de funciones dosis-respuesta diseñadas exclusivamente para evaluar el impacto de PM10 en el caso peruano, se ha aplicado como referencia las funciones estimadas en otros países (EPA, 2004).

Algunos autores (Ostro 1994, Sánchez et al., 1998), en base a los coeficientes de las pendientes de funciones dosis-respuesta, construyeron escenarios para mortalidad (β_{Mt}) y morbilidad (β_{Mb}) causados por la contaminación ambiental en el aire por PM10. Estos escenarios son estimados sobre la base de tres niveles: el escenario alto (Pope et al., 1995), el medio y el bajo (Ostro et al., 1996). A continuación, se explica el procedimiento para determinar el CCA en el aire de la población expuesta de Lima Metropolitana para efectos de mortalidad y morbilidad.

Para el cálculo del incremento del número de casos de mortalidad ante un incremento de la concentración de PM10 en un período t ($\Delta K M_t$), se utilizó la expresión (1) que es la más utilizada en este tipo de estudios (Orihuela, 2013).

(1)

Donde,
$$\Delta K M_t = (\beta_{Mt}) \cdot \left(\frac{\Delta P M_{10}}{100} \right) \cdot (T M_t) \cdot (P o b E x_t)$$

El análisis se delimitó en dos aspectos: considera solo enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica y la población de referencia fue las personas atendidas en el consultorio de la Florida, Talca, reportados enfermos durante 2006. Dada la limitante de información existente, no se han agregado los accidentes cardiovasculares que se ha demostrado que aumentan como consecuencia de la contaminación con material particulado fino y tampoco se ha valorado el aumento de

la mortalidad por exposición previa a material particulado. Además, la exposición crónica a dicho material aumenta la mortalidad por diversos cánceres, en especial, el broncopulmonar (Cerda, 2008).

Análisis de correlación: IRA-Contaminación atmosférica en el consultorio Amanecer para los tres años de estudio. 2000-2002.

Al realizar el análisis para cada año de estudio, en relación con las semanas sin ocurrencia y con presencia de contaminación atmosférica de PM₁₀ y los casos presentados de infecciones respiratorias agudas, se observa que no hay relación estadísticamente significativa. Esto se explica porque los valores son muy similares y homogéneos. En cambio, en el lapso de tres años de estudio hay diferencias estadísticamente significativas en el SBO en los niños menores de 5 años, con promedio en los días de contaminación de $37,6 \pm 19,0$ (p: 0,021); en cambio, en las otras patologías en estudio no se observan diferencias.

Análisis de correlación: IRA-Contaminación atmosférica en el consultorio Santa Rosa para los tres años de estudio. 2000 - 2002.

En el análisis para cada año 2000, 2001 y 2002 no hay relación estadísticamente significativa entre las semanas sin ocurrencia y con presencia de contaminación atmosférica por PM 10 y los casos presentados de infecciones respiratorias agudas. Sin embargo, en la que representa el consolidado de consultas de IRA del Consultorio Santa Rosa, en los días con contaminación atmosférica y sin ella, medida en PM 10, en los tres años de estudio, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas, las que están dadas en la neumonía-bronconeumonía (P0,050) y patología "otras"(Barrios, 2004).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Medio ambiente

Es el entorno vital del sistema constituido por los elementos físicos, biológicos, económicos, sociales, culturales y estéticos donde interactúan entre sí el individuo y la comunidad en que vive; lo que determina la forma, el carácter, el comportamiento y la supervivencia de ambos (**Gómez, 1999**)

2.2.2. Contaminación

Se denomina contaminación a la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivo para la salud o el bienestar de la población humana, de la vida animal, o vegetal. Esta degradación del medio ambiente por un contaminante externo puede provocar daños en la vida cotidiana del ser humano y alterar las condiciones de supervivencia de la flora y la fauna. Alrededor de 2 millones de personas podrían morir cada año por alguna causa atribuible a la contaminación atmosférica, asegura la Organización Mundial de la Salud. Según este estudio, la mayor cantidad de muertes se produce en los países en desarrollo, donde se concentran altas densidades de partículas nocivas para la salud (**Inspiración, 2016**).

➤ Función de costos externos

El costo externo es el que tiene un proceso productivo sobre otros agentes económicos, sobre toda la sociedad; tal como hemos visto, el mercado genera una tendencia a que se iguale el proceso de un producto al costo marginal de su producción y ese resultado es socialmente eficiente. El objetivo de reducir la contaminación tiene un precio que será tanto más alto si está sometido a las leyes de los rendimientos decrecientes que ya conocemos. Eliminar el 30% de las emisiones contaminantes de una industria puede ser barato, pero llegar a eliminar el 60% costaría mucho más del doble (**Galle y Rodríguez 2002**).

➤ **Función de costo social**

Los costos sociales se refieren a las pérdidas, ya sean directas o indirectas que la comunidad recibe, como resultado de la deficiente regulación de las actividades humanas, si se habla en términos ambientales y la concentración de actividades económicas en algunas zonas de la ciudad. En efecto, estos costos son el resultado negativo y daños que originan las emisiones industriales de las cuales los empresarios no se consideran responsables.

Las variables que intervienen en el modelo econométrico para estimar el costo social se han considerado con la finalidad de conocer en qué medida las emisiones de los contaminantes (E) sirven para observar la magnitud de las disposiciones en la protección del ambiente se ha reflejado en la reducción de emisiones y su relación con (Y), los daños ocasionados en la salud de los habitantes de la ciudad de Cajamarca por enfermedades respiratorias y otras. La variable dependiente es (Y) y se identifica con (E). Esta sirvió para observar en qué medida se ha reflejado en la reducción de emisiones los cambios en E y la modificación de los valores de Y en el sentido del aumento de los casos por enfermedades respiratorias al elevarse las emisiones contaminantes por observar las normas ambientales $Y_t = f(E)$ (Reyes y Alvarado, 1986).

➤ **Función de costos privado**

Costos privados son todos los gastos que realizan las empresas para llevar a cabo su actividad productiva; sin embargo, en este análisis hace referencia a uno de estos gastos efectuados por el control de la contaminación. De esta manera se tomó en cuenta, para llevar a cabo el gasto relacionado con la adquisición, la instalación y el mantenimiento de los mecanismos de control efectuado por las empresas productoras. La utilización de esta variable es para observar el efecto que han

tenido las normas ambientales pactadas en los acuerdos internacionales como en el control de la contaminación ambiental en la zona de estudio. Por ello, se espera que el cumplimiento satisfactorio de las normas ambientales sea un factor relevante en el control de las emisiones y variables que intervienen en el modelo econométrico para estimar el costo privado. Se ha procedido a estimar el modelo econométrico para observar la relación existente entre el número de partículas (E) y el costo total de adquisición, instalación y mantenimiento $C = f(E)$ (Reyes y Alvarado 1986).

➤ **Costos privados y costos sociales**

Un costo privado de producción es el que recae en el producto de un bien, y el costo marginal privado (CMgP) es el que se efectúa una unidad para producir más de un bien o servicio.

El costo marginal social es el costo marginal incurrido por la sociedad entera por el productor y todo aquel sobre quien el costo recaiga. Es la suma del costo marginal privado y el costo marginal externo. $CMS = CM + CMg E$. Los costos se expresan en unidades monetarias, pero se debe recordar que representan un costo de oportunidad. El costo marginal privado, el costo marginal externo y el costo marginal social aumentan con la producción (Salusso, 2009).

Figura 1. La curva CM, la curva CMS, el costo marginal externo es la distancia vertical entre las curvas CM y CMS

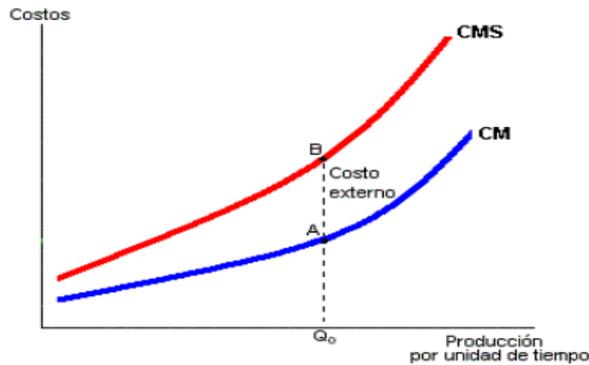


Figura: Salusso, 2009.

El equilibrio en presencia de costos externos se da a la cantidad producida donde el costo marginal privado iguala al beneficio marginal. El productor no considera en sus decisiones el costo externo. En esta situación, el beneficio marginal es menor que el costo marginal social; por lo tanto, este equilibrio del mercado es ineficiente.

Figura 2. Ilustra el costo externo y pérdidas irre recuperables de los contaminantes.

El mercado se ubica en el punto A, mientras que la situación de eficiencia se daría en el punto C. La zona ubicada entre los puntos ABC es una pérdida irre recuperable de bienestar para la sociedad (Salusso, 2009).

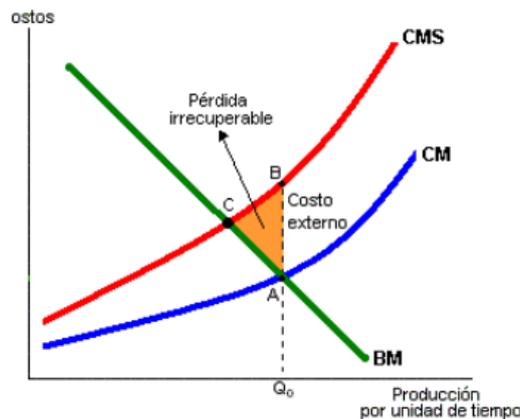


Figura: Costos externos

➤ **Impuestos ambientales**

Tienen propiedades de optimización si se conocen los costos del daño de la actividad que genera la externalidad por su uso no sostenible y aun si no conoce tienen propiedades de menor costo. Existen varios modelos teóricos que permiten analizar y determinar los impuestos. A continuación se desarrolla el modelo propuesto por Pigou (Salusso 2009).

La curva CMgP representa los costos marginales privados que difieren de los CMgS de los costos marginales sociales, por una cantidad igual a los costos marginales externos CMgE.

$CMgP = CMgS - CMgE$: El método consiste en maximizar los beneficios sociales (B) y que son menores que los beneficios privados

$B = R(X) - C(x) - E(x)$; R= Ingreso; C= Costo privado; E= Costo externo.

Los beneficios sociales se maximizan cuando no puede aumentarse “B” incrementando o disminuyendo la producción óptima de Pareto.

$$dB/dX = 0 \text{ o bien } dB/dX = dR/dX - dC/dX - dE/dX = 0$$

$$B_{Mg} = IMg + CMgP - CMgE = 0$$

$IMg = CMgP + CMgE$ y si fija un impuesto “T” igual al CMgE se obtiene:
 $IMg = CMg + T$

➤ **Análisis gráfico de la contaminación**

Los costos externos para la población no están incluidos en S_1 , porque las empresas no pagan por el daño de las filtraciones que provocan contaminación. Si las empresas contaminan el medio ambiente en cualquiera de sus modalidades, se reduce el valor de las propiedades, se eleva el costo del cuidado de la salud y, en general, se

deteriora la calidad de vida. Debido a que la curva de la oferta S_1 no incluye los costos externos, estos tampoco se reflejan en el precio de los bienes.

En resumen, la ausencia del costo de contaminación en el precio del bien significa que las empresas producen más. La curva de la oferta S_2 existiría si se incluyeran los costos externos de las enfermedades de la piel, enfermedades respiratorias y otros efectos colaterales indeseables para la sociedad involucrada. S_2 incluye los cargos por el daño ambiental; por ello, el precio del equilibrio se eleva a P_2 y la cantidad de equilibrio se traslada hasta Q_2 . En el punto de equilibrio eficiente E_2 el mercado de los bienes alcanza la eficiencia en la asignación de recursos. En E_2 las empresas pagan todo el costo y utilizan menos recursos para producir una cantidad menor en Q_2 .

En conclusión, “cuando la curva de oferta no incluye los costos externos, el precio de equilibrio es artificialmente bajo y la cantidad de equilibrio artificialmente alta”. (Tucker, 2002).

Figura 3. Análisis gráfico de la contaminación

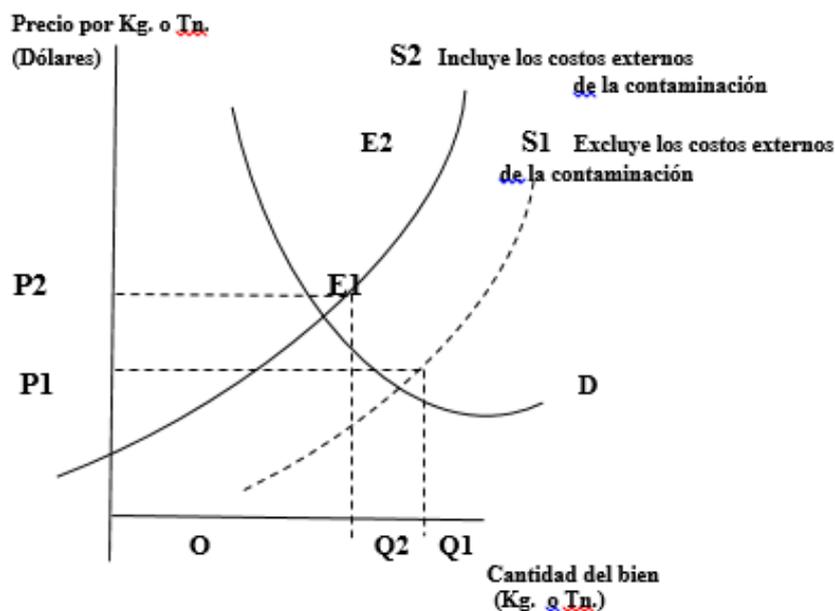


Figura: Tucker, 2002 “Fundamentos de Economía

2.2.3. Calidad del aire

➤ La atmósfera

Es una masa gaseosa que cubre a la tierra con espesor cercano a los dos mil kilómetros. Está formada por una mezcla de gases permanentes (nitrógeno, oxígeno, argón, entre otros) y por otros gases y partículas que no son parte de su composición normal, a lo que llamamos “contaminantes del aire” (**Gomez,2003**).

➤ Composición del aire

Cuando se habla de la contaminación del aire, se hace referencia a la alteración de su composición natural. El aire que se respira está compuesto, principalmente, por los gases de nitrógeno 78,08%, oxígeno 20,95%, dióxido de carbono 0,03%, y otros gases raros 0,94%, estos son helio, neón, argón, kriptón, xenón y radón, y, además, la atmósfera contiene cantidades mínimas de metano, polvo, cenizas volcánicas y vapor de agua. (**Gomez 2003**).

➤ Normas de la calidad del aire

Las normas son recomendaciones para los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger los efectos nocivos.

La Organización Mundial de Salud (OMS), mediante la aplicación de normas sobre la calidad del aire y varios de América Latina, han establecido sus propias normas.

Las normas o estándares de la calidad del aire establecen los niveles de concentración máxima de contaminación del aire durante un período definido, que, en su condición de cuerpo receptor es recomendable que no exceda para evitar el riesgo en la salud humana (Reglamento de estándares nacionales de

calidad ambiental del aire. D.S. N° 074-2001-PCM). La unidad en que se expresan normalmente estos niveles son microgramos de contaminante por metro cúbico de aire, medidos durante un período de tiempo determinado.

Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire

Para controlar las emisiones de agentes contaminantes, precisamente, han sido creados por el Consejo Nacional del Ambiente - Perú (CONAM); en julio del 2001 se aprobó, por D.S. N° 074-2001-PCM, el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA). Los estándares de la calidad ambiental del aire (ECA) consideran los niveles de concentración máxima de los contaminantes para un período determinado. En la tabla 1 se muestran los estándares aprobados en dicho reglamento. Se tomaron en cuenta los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, durante los períodos de estudio del año 2012 y 2013.

Tabla 1. Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire

Contaminante	Período	Valor	Forma estándar	Método de análisis
Partículas (PM ₁₀)	Anual	50	Media aritmética anual	Separación /Inercia (Filtración Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces /año	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 3 veces /año	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Anual	100	Promedio aritmético	Quimioluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	anual NE más de dos veces/año	
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10 000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR).
	1 hora	30 000	NE más de 1 vez/año	

Fuente: Consejo Nacional del Ambiente del Aire – Perú (CONAM)-D.S. N° 074-2001-PCM.

Los estándares de la calidad ambiental del aire para otros países

Son valores límite para la prevención de efectos ambientales en salud. Los estándares de calidad del aire son lineamientos promulgados por los gobiernos en base a las concentraciones actuales de los contaminantes, a la disponibilidad de tecnologías para su

cumplimiento, a los costos de control. En los últimos 10 años de definir a las partículas suspendidas totales PTS, han especificado los símbolos PM₁₀ como partículas con 10 micras o menos de diámetro y PM_{2,5}, partículas con 2,5 micras o menos de diámetro. La razón de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud.

Tabla 2. Comparación de los estándares de calidad de aire para diferentes países, ug/m³

Contaminante	Período	Brasil	Chile	Colombia	México	Venezuela
Partículas	Anual	50	-	-	50	-
(PM ₁₀)	24 horas	150	150	-	150	-
Dióxido de	Anual	80	80	100	79	80
azufre (SO ₂)	24 horas	365	365	400	341	365
Dióxido de	Anual	100	100	100	-	100
nitrógeno(NO ₂)	1 hora	320	470	-	395	200
Monóxido de	8 hora	10 000	10 000	15 000	12595	10 000
carbono (CO)	1 hora	40 000	40 000	50 000	-	35000

Fuente: Consejo del Ambiente del Aire

Transporte y medio ambiente

El transporte y las actividades vinculadas a él tienen impactos ambientales de alcance global, regional y nacional. Muchos de estos impactos se originan en la quema de combustibles fósiles y corresponden al transporte vehicular. Existen otros impactos debidos al derrame de combustibles y su evaporación, los cuales no son tan serios como en el caso de la combustión, o los debidos al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los cuales contribuyen al cambio climático. (Ogunlade, 1993).

➤ **Fuentes de contaminación de la atmósfera**

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas o artificiales.

- **Fuentes naturales de contaminación.** Son factores que contaminan debido a la presencia de los vientos que producen polvaredas, las erupciones volcánicas, la erosión del suelo, los incendios forestales y la descomposición de la materia orgánica en el suelo y océanos (**Inche 2008**).
- **Fuentes antropogénicas o artificiales.** Son las que contaminan a causa de las actividades humanas. Comprende fuentes fijas y móviles.
 - **Fuentes fijas.** Son todo tipo de instalaciones establecidas en un solo lugar y que tienen como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.
 - **Fuentes móviles.** Son las emisiones más comunes provenientes de los vehículos automotores. Son expelidas a través del tubo de escape (Inche, 2008).

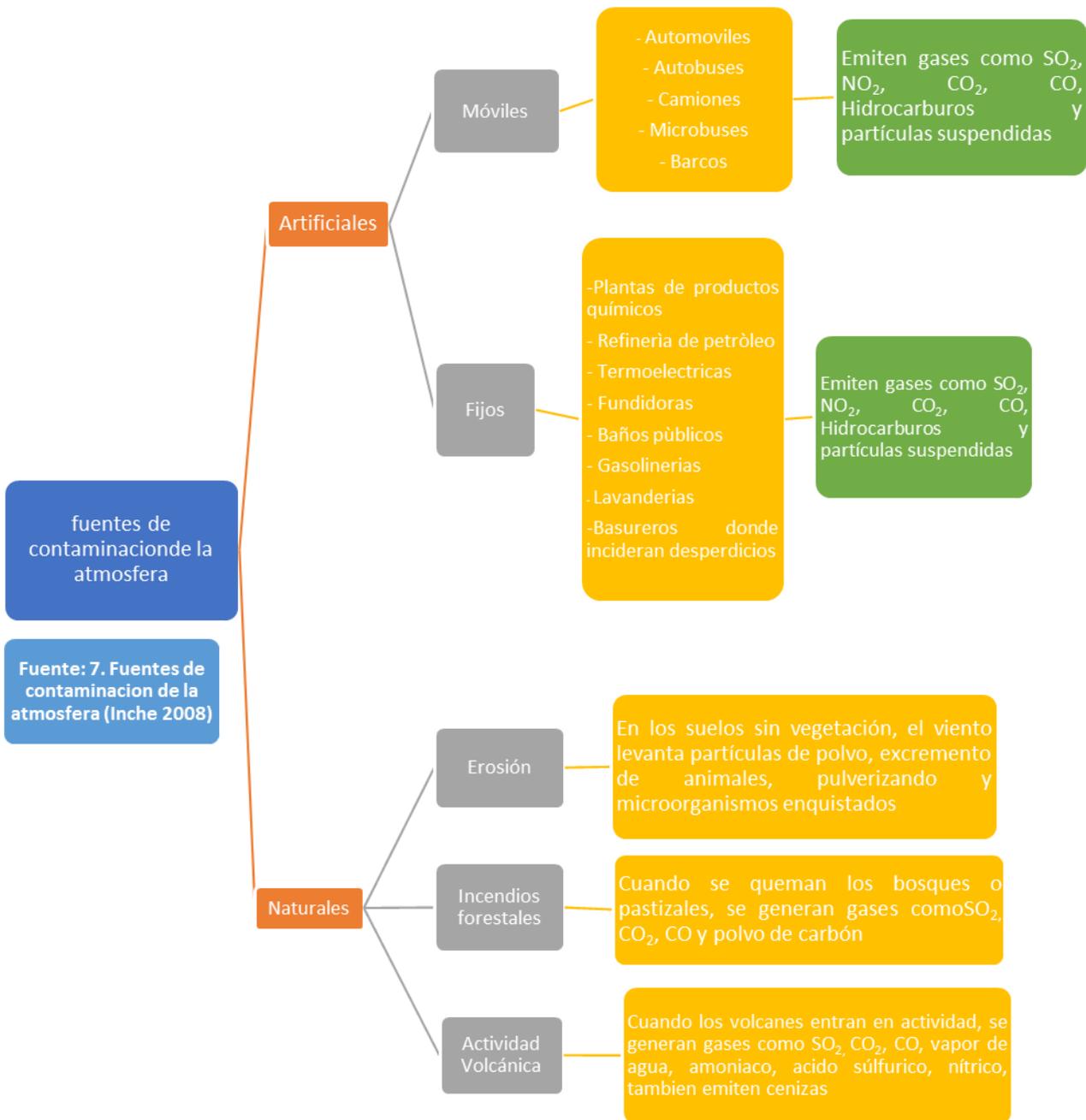


Figura 4: Fuentes de la contaminación de la atmósfera

2.2.4. Clasificación de contaminantes

➤ Los contaminantes primarios

Son aquellos contaminantes emitidos directamente hacia la atmósfera por fuentes emisoras como aquellos que generan los gases de las chimeneas de las fábricas industriales, la quema de combustibles, los gases emitidos por los tubos de escape de los vehículos, las partículas de polvo arrastradas por el viento, etc. Entre estos contaminantes figuran: monóxido de carbono (CO), dióxido de Azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado y otros (Collazos, 2008).

➤ Los contaminantes secundarios

Son los que derivan de las transformaciones de los contaminantes primarios, al reaccionar sus propios elementos por la influencia de los componentes del clima (radiación solar, humedad, viento). Son sustancias tóxicas que se forman en la atmósfera y que están sujetos a cambios químicos producidos por contaminantes primarios como: el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y las partículas sólidas (PM₁₀). (Collazos, 2008).

➤ Los contaminantes de referencia

Están conformados por contaminantes primarios y secundarios que se encuentran en zonas urbanas. El convenio con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los reglamentos de los Estados Unidos y la Unión Europea señalan que están conformados por el monóxido de carbono (CO), dióxido de Azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM₁₀) y plomo (Pb). Las concentraciones de los contaminantes de referencia varían de una localidad a otra, de acuerdo con el tipo de intensidad de la actividad

industrial, tráfico vehicular y el grado de control ambiental existente en cada uno (OMS, 2005).

2.2.5. Tipos de contaminantes del aire

Los contaminantes más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los dióxidos de nitrógeno, los dióxidos de azufre, material particulado, el ozono y otros.

➤ **Material Particulado MP₁₀**

Se les conoce como partículas menores que 10 micrómetros o PM₁₀, existen partículas flotando en el aire, la mayoría de ellas no pueden ser vistas a simple inspección; estas partículas son un tipo de contaminación que comúnmente afectan la salud de las personas y existen en cualquier forma, tamaño y estado de la materia. Se dividen en dos grupos principales.

Se deduce que las partículas grandes miden entre 2,5 y 10 micrómetros (de 2,5 a 100 veces más delgadas que un cabello humano); en cuanto a los efectos adversos a la salud pública el PM₁₀ es menos que el PM_{2,5} debido a su tamaño. Se dice que el origen de estas partículas se debe a la presencia de humo, polvo de las emisiones generadas por fabricas ladrilleras y polvo de los caminos, avenidas asfaltadas y pavimentadas; unas de las partículas biológicas de ese tamaño que conforma a ese grupo es el polen, el moho y esporas, que suelen tener amplia dispersión de acuerdo con la fuerza del viento. Varían desde 30m hasta 16 km. Dicho entonces de manera general, se precisa el concepto que el PM₁₀ son pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersas en la

atmósfera cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 ug (un micrómetro corresponde la milésima parte de un milímetro) (Matos, 2008).

Las fuentes del PM₁₀

Las fuentes de emisión se originan en la contaminación generada por la combustión en los automóviles debido a los combustibles que puede ser gasolina, petróleo diesel, gas natural vehicular.

• PM₁₀ y efectos en la salud

Las PM₁₀ y efectos de salud, al ser inhaladas y al asimilar con facilidad al sistema respiratorio humano, causan efectos adversos a la salud de las personas, específicamente, a la salud respiratoria. Estos contaminantes, al ingresar a los pulmones, y estar compuestos de elementos más tóxicos, como metales pesados y compuestos orgánicos, causan cáncer. Actualmente, se considera que las partículas en suspensión son un problema de contaminación ambiental. Las PM₁₀ están detrás de numerosas enfermedades respiratorias y cáncer al pulmón (Matos, 2008).

➤ Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El óxido de nitrógeno o dióxido de nitrógeno (NO₂) es un compuesto químico formado por nitrógeno y oxígeno. Es uno de los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno. El óxido de es de color marrón amarillento; se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. (Matos, 2008).

- **Fuentes del Dióxido de nitrógeno (NO₂)**

La mayor fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno es el uso de combustibles fósiles por fuentes fijas y móviles, aunque también se producen óxidos de nitrógeno durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas. Los óxidos de nitrógeno se generan de manera natural por actividad volcánica, y por descargas eléctricas atmosféricas; sin embargo, la cantidad generada es baja en comparación con las emisiones de origen antropogénico. La permanencia del dióxido de nitrógeno en la atmósfera es de un día (Matos, 2008).

- **Dióxido de nitrógeno (NO₂) y sus efectos en la salud**

El dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones, causar bronquitis y pulmonía, así como reducción de la resistencia respiratoria a las infecciones. Los efectos de la exposición continúan a concentraciones mayores a las encontradas en el aire, pueden causar un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias en los niños, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos con enfermedades respiratorias crónicas. La norma oficial peruana en la referente al dióxido de nitrógeno (NO₂) establece como límite de protección a la salud, una concentración máxima diaria de 200 µg/m³ promedio de 1 hora una vez al año para protección de la población (Matos, 2008).

- **Dióxido de Azufre (SO₂)**

El dióxido de azufre es un gas incoloro de olor penetrante, bajo presión es un líquido que se disuelve fácilmente en el agua; no es inflamable. Se trata de una sustancia reductora que el tiempo y en contacto con el aire y la

humedad, se convierte en óxido de azufre; se genera principalmente por actividades con la combustión de combustibles fósiles (carbón, aceite) tal como ocurre en plantas de energía o de fundición de cobre. En la naturaleza, puede ser liberado al aire por erupciones volcánicas. (Matos, 2008).

➤ **Dióxido de Azufre (SO₂) y efectos en la salud**

El dióxido de azufre es un gas irritante, tóxico y de efectos en la salud pública. Afecta, sobre todo, las mucosidades y los pulmones, provocando ataques de tos; si bien, este es absorbido por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos (Matos, 2008).

• **Fuente del Dióxido de Azufre (SO₂)**

Es el principal causante de la lluvia ácida, ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico. Es liberado en muchos procesos de combustión, ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diesel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados. En la naturaleza, el óxido de azufre se encuentra, sobre todo, en las proximidades de los volcanes, y las erupciones pueden liberar cantidades importantes de emisiones; así como de los tubos de escape de los vehículos motorizados (Matos, 2008).

➤ **Contaminación con monóxido de carbono (CO)**

El monóxido de carbono (CO) es un gas venenoso inodoro e incoloro; es emitido al aire por vehículos automotores, industrias y, en menor escala, por

procesos naturales como incendios forestales. El monóxido de carbono proviene de la combustión incompleta de compuestos de carbono; se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina (**Gonzales, 1986**).

- **Fuente del monóxido de carbono (CO) y efectos en la salud**

En la salud humana, el monóxido de carbono (CO) muestra efectos en el sistema respiratorio y cardiovascular, donde la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad; en los últimos años se registró un incremento de 46% al 48% de niveles de contaminación en las principales ciudades del país. Sin embargo, al presentarse mayor cantidad de monóxido de carbono (CO) en el ambiente, aumenta los síntomas de dolor de cabeza, sensación vertiginosa, debilidad muscular y alteraciones de la visión en 50 ug/m^3 en el ambiente durante un período de tiempo de 1 hora (**OMS, 1997**).

2.2.6. Medición de contaminantes

- **Muestreo y análisis del aire**

El muestreo y análisis del aire ambiental y de la emisión de las fuentes puntuales es importante por varias razones: “se puede medir el aire ambiental y la emisión de las fuentes.”

Los datos de las concentraciones de los contaminantes del aire se usan para determinar el cumplimiento de los reglamentos y normas de la calidad del aire, “monitoreo del aire: recolección de muestras, análisis de muestras, notificación y uso de información recopilada” (**Inche, 2008**).

➤ **Medición y análisis de contaminantes del aire**

La medición de los contaminantes sirve para variar funciones tales como: provee un criterio cuantitativo sobre los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) que se están superando o logrando, y en qué grado la medición es necesaria para determinar si algún cambio nocivo en los niveles de contaminación está ocurriendo como resultado de las actividades del hombre. Sirve para determinar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del aire (ECA) y para diagnosticar las condiciones de un área antes de construir una nueva fuente de contaminación (**Inche, 2008**).

➤ **Concentración de los contaminantes en el aire**

La concentración de los contaminantes atmosféricos durante los procesos de medición y análisis de contaminantes suele expresarse en 3 tipos de unidades:

La primera unidad, empleada para contaminantes gaseosos, es las partes por millón en volumen y cuyo símbolo es ppm. Algunas veces, las concentraciones se expresan también en partes por mil millones (ppb).

La segunda unidad de concentración frecuentemente está basada en el peso por unidad de volumen de aire expresada en microgramos por metro cúbico y cuyo símbolo es $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se utiliza esta medida para las partículas y también para los gases.

La tercera unidad, poco usada, es la de miligramos por metro cúbico y el símbolo es mg/m^3 . La conversión entre ppm y $\mu\text{g}/\text{m}^3$ depende del peso molecular (PM) y del volumen ocupado por un mol de la sustancia. (**Inche, 2008**).

Medición de instrumentos de la contaminación del aire

➤ Aparatos de medición manuales

Los aparatos manuales son aquellos que permiten obtener una muestra en el lugar de medición que posteriormente es analizada en un laboratorio especializado. El tipo de muestra y el tipo de análisis llevado a efecto en el laboratorio depende del contaminante que se quiera medir. Además, los resultados nos informan en general de valores medios en un día, los cuales pueden esconder valores punta que pueden ser importantes y que se dan en períodos de tiempo más cortos.

➤ Aparatos de medición automática

Los aparatos de medición automática, también llamada simplemente analizadores, tienen la gran ventaja, respecto de los manuales, que ellos mismos realizan los análisis. Por tanto, se hacen automáticamente y en tiempo real, es decir, los aumentos de contaminación se pueden detectar de modo instantáneo (no es necesario transportar las muestras al laboratorio) y los resultados se transmiten directamente al centro receptor de datos; lo cual permite una actuación muy rápida en caso de que sea necesario. No obstante, hay que tener presente que no todas las sustancias se pueden medir con métodos automáticos y que, a menudo, no es necesario recurrir a estos procedimientos más costosos.

➤ Equipos de medición de contaminantes

Estos equipos son utilizados como analizadores de gases de monóxido de carbono (CO), a fin de tener el control de emisiones de pruebas aleatorias en altura, control de humo de los vehículos que consumen combustibles y que circulan en la ciudad. La estación de monitoreo está ubicada en la Colmena Baja de la Municipalidad de Cajamarca. Allí se encuentra el equipo thermo muestreador de gases, llamado tren de muestreo. Es específico para medir dióxido de azufre (SO₂)

y dióxido de nitrógeno (NO₂). Se trata de un muestreador de ALTO volumen Hi Vol, material particulado de PM₁₀ Y PM_{2.5}. Los datos recolectados son utilizados en la medición de la contaminación ambiental del aire ocasionado por los vehículos automotores, que son fuente de diversas emisiones. Los equipos de medición se utilizan tal como se observa en la (Tabla 3).

Tabla 3. Los equipos de medición de contaminantes

EQUIPOS DE MEDICIÓN	UTILIZACIÓN DE CONTAMINANTE
Equipo analizador de gases de monóxido de carbono, Hidrocarburos modelo MHC-218 – Senati de Cajamarca. Equipo analizador de gases de monóxido de carbono modelo 48 i- Municipalidad de Cajamarca.	Sirve para determinar el gas de monóxido de carbono, y es un analizador de gases de carbóno automático que determina la concentración del monóxido de carbono (CO). Estas recolecciones de datos son usadas para reportar el índice de la contaminación.
Equipo muestreador de gases llamado: “ Tren de muestreo”	Sirve para la obtención de muestras de gases dióxido de azufre (SO ₂) y dióxido de nitrógeno (NO ₂).
Equipo Muestreador de Alto Volumen: (HiVol) Marca : Thermo Fisher Scientific Modelo : GUV-15H-1-60	Sirve para la obtención de muestras de partículas mayores PM ₁₀ micras y partículas menores PM _{2.5} micras, para su previo análisis de laboratorio.

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca área de medio ambiente.



Figura 5. Equipos para monitoreo de la calidad del aire

Equipos muestreadores de gases (NO₂ y SO₂)

Se utiliza el equipo muestreador de gases o tren de muestreo, el cual tiene dos compartimentos (probetas), uno para cada gas; pero no necesariamente se monitorean los dos al mismo tiempo.

El monitoreo se realiza de la siguiente manera:

- Previamente adquiridas las sustancias captadoras de gases, estas se vacían en la probeta de monitoreo correspondiente, debidamente limpia y libre de sustancias ajenas al muestreo.
- Se conecta el equipo a la fuente de energía eléctrica y se regula la presión de ingreso de aire hacia la sustancia captadora (el cual ingresa por succión).
- Después de transcurrida una hora para el caso del dióxido de nitrógeno y 24 horas para el dióxido de azufre, se procede a apagar el equipo y a vaciar la sustancia captadora concentrada en el recipiente inicial. Se realiza el etiquetado respectivo (hora inicio, final, fecha, muestreador, estación).
- Se reúnen todas las muestras obtenidas durante todo el mes, y se las envía al laboratorio para su respectivo análisis.
- Posteriormente el laboratorio emite un informe con los valores obtenidos en el muestreo.
- Los resultados son sistematizados e interpretados para la toma de decisiones respectiva.

Equipos muestreadores de partículas de PM-10 y PM-2.5

Se realiza en el muestreador de partículas de alta presión (HI -VOL) de marca THERMO FISHER SCIENTIFIC, modelo GUV-15H-1-60, con un flujo de 1,13 m³/minuto. Se inicia con la colocación del cabezal para PM 10 o PM 2.5 en la cámara

buffer del equipo. Este debe estar debidamente limpio libre de polvo u otros agentes que puedan modificar los resultados esperados.

Una vez colocado el cabezal en su lugar, se procede a colocar el filtro, e inmediatamente después se inicia la medición del equipo conectando este en la fuente de energía eléctrica. Una vez iniciado el monitoreo se espera que transcurran 24 horas; al término de las cuales se procede a retirar el filtro. Se dobla una sola vez y se coloca en un sobre debidamente etiquetado.

Posteriormente será colocado junto con los demás filtros en un recipiente adecuado para su envío al laboratorio. El responsable del laboratorio emite a la municipalidad provincial de Cajamarca un informe de ensayo en medio físico. Los datos obtenidos son pasados a un ordenador para su posterior interpretación y la toma de decisiones.

Equipos muestreadores de monóxido de carbono (CO).

Se realiza en el equipo analizador de monóxido de carbono de marca THERMO FISHER SCIENTIFIC 48I, para cuyo fin solo se debe tener en cuenta que funcione correctamente y que la fuente de energía no falle. El monitoreo se hace durante las 24 horas del día, y los resultados pueden ser pasados directamente a un ordenador.

Los equipos son utilizados como analizadores de gases de monóxido de carbono (CO), son para el control de emisiones y sirven de base para las pruebas aleatorias en altura, control de humo de los vehículos que circulan en la ciudad y que consumen combustibles. La estación de monitoreo está ubicada en la Colmena Baja de la Municipalidad de Cajamarca, donde se encuentra el equipo Thermo Muestreador de gases llamado Tren de muestreo; es específico para el dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂), muestreador de ALTO volumen Hi Vol , material particulado de PM₁₀ Y PM_{2.5}.

2.2.7. Métodos y análisis empleados.

La elección del método específico de análisis depende de un número de factores siendo los más importantes las características químicas del contaminante y su estado físico, sólido, líquido o gaseoso y los métodos a utilizar son:

➤ **Método la gravimetría**

Unos de los métodos para la medición del **material particulado** es el que consiste en emplear principios gravimétricos. La gravimetría se refiere a la medición del peso. Las partículas se atrapan o recogen en filtros y se pesan; el peso del filtro con el contaminante recolectado menos el peso de un filtro limpio de la cantidad del material particulado en un determinado volumen de aire. “la medición del material particulado emplea principios gravimétricos y la gravimetría se refiere a la medición del peso”. (Inche, 2008).

➤ **Método de fluorescencia los rayos ultravioletas.**

En el método de análisis automático, el calor que tiene el equipo se determina con la radiación ultravioleta, con la cantidad de micras por metro cubico; es una muestra analizada el gas **dióxido de azufre**. El método estadístico es utilizado para los resultados de las muestra por intermedio de la media aritmética anual, que es el promedio; este se compara con el valor de la medición con el equipo de muestreo (Inche, 2008)

➤ **Método infrarrojo no disperso (NDIR)**

El método de análisis automático sirve para emitir una luz para el muestreo de **monóxido de carbono**. El método estadístico que es utilizado para los resultados de la muestra es el promedio móvil, que se compara con el valor de la medición con el equipo de muestreo de analizador de gases (Inche, 2008).

➤ **Método quimioluminiscencia de fase gaseosa.**

La quimioluminiscencia de fase gaseosa es un método para medir el **dióxido de nitrógeno**. Se utiliza una sustancia líquida captadora para se proceda a su análisis en el laboratorio. El método estadístico es utilizado para los resultados de la muestra; es el promedio aritmético anual que se compara con el valor de la medición con el equipo de muestreo (**Inche, 2008**).

➤ **Monitoreo de la concentración de contaminantes en el aire**

Estos procedimientos detallados son los métodos que se revisan y actualizan de acuerdo con el avance de la tecnología. (**Inche, 2008**).

➤ **Métodos manuales**

Son técnicas específicas que se deben seguir cuando se recolecta y analiza la muestra de un contaminante del aire. (**Inche, 2008**).

Método automatizado. Los métodos automatizados se refieren, generalmente, a un instrumento aprobado que satisface los requisitos técnicos para la recolección y análisis exactos de un contaminante. Los métodos automatizados se usan principalmente para recolectar y analizar aire de manera permanente. (**Inche, 2008**).

Método de la función de daño. Consiste en el uso de secuencias de modelos para determinar los impactos físicos de la contaminación, y en modelos económicos para valorar estos impactos. Por un lado, se recurre a modelos epidemiológicos o físicos para determinar el efecto que un cambio en la concentración de contaminantes tiene sobre la salud de las personas, la visibilidad, el daño a materiales y la vegetación.

Una vez cuantificados algunos de estos impactos, se procede a monetizarlos a través de técnicas varias de valoración monetaria. Estos métodos pueden incluir medidas de costos (como costos de atención médica o pérdida de ingresos por incapacidad de trabajar causada por enfermedad relacionadas con la contaminación); indicadores indirectos como variaciones en precios de inmobiliario atribuible a la calidad ambiental, o métodos, como encuestas, que buscan indirectamente obtener información sobre la disponibilidad de la población a pagar por un mejoramiento en la calidad del medio ambiente. El uso de este método constituye el camino elegido actualmente por la mayoría de los estudios que han estimado los beneficios de reducción de contaminación atmosférica (**Cifuentes, 2004**).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1. Definición operacional de variables

Contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca. Se refiere a la introducción en la atmósfera, directa o indirectamente, de sustancias tóxicas que ponen en peligro la salud de los habitantes, causan daños a los recursos biológicos y ecosistemas y deterioran bienes materiales que perjudican las actividades del medio ambiente. La contaminación del aire se mide en la zona urbana para conocer el impacto que produce proveniente de fuentes móviles y fuentes fijas, y como consecuencia de la actividad humana; por ejemplo, por emisiones de combustibles fósiles, tratamientos y eliminación de residuos (**Gomes 2003**).

Costos externos. Estos son conocidos como externalidades negativas o efectos externos negativos. Se denominan también costos a terceros; además tienen un proceso productivo sobre los agentes económicos. Su objetivo no es reducir totalmente la contaminación, puesto que tiene un precio que será más alto. “Costo externo es un costo social y el principio ecologista, luego el que contamina paga”. ¿Cuántos economistas podrían calcular los costos de la contaminación y el precio de su depuración? (**Pigou, 1920**).

Tabla 4. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Unidad de Medida
I.Variable independiente				
Contaminación del aire	Es el que se produce como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas	Nivel de concentración de los contaminantes que se produce de acuerdo con las normas de la EPA.	Emisiones de Contaminantes (CO,NO ₂ ,SO ₂ PM ₁₀ PM _{2,5})	Primera unidad de medida (µg/m ³). Segunda unidad de medida (PPb). Tercera unidad de medida (ppm).
II.Variable dependiente				
Costos externos	Es un proceso productivo sobre otros agentes económicos.	Medición de contaminantes Usando tablas y figuras.	Costos sociales - Costos privados -	Casos de consultas tipo de emisiones. Adquisiciones de los equipos.

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA-2001).

3.2. Tipo y descripción del diseño de contrastación de la hipótesis

La investigación desarrollada se encuentra bajo el enfoque explorativo-descriptivo-correlacional, explicativo no experimental, hipotético deductivo y experimental; puesto que no se manipula la variable independiente. Su diseño es transversal.

3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas utilizadas para el procesamiento de los datos obtenidos a través de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos, principalmente, fueron:

- Herramientas de los modelos econométricos que consideran los costos sociales y privados.
- Coeficientes de determinación (R^2), que explican el porcentaje de emisiones y consultas médicas.
- Prueba “t” de Student para prueba de hipótesis que considera el nivel de confianza para cada estimador.
- Prueba “F” para la prueba de hipótesis del análisis de varianza.
- Desviación estándar ($\sigma\beta$) respecto de los estimadores.

- Análisis econométrico. Para realizar el análisis se utilizó el programa Excel, que consta de dos relaciones funcionales: la primera es para observar la relación que existe entre emisiones y consultas médicas, y la segunda es utilizada para conocer en qué medida se dan las emisiones y los costos de adquisiciones, instalaciones y el mantenimiento de los equipos que se utilizan en los monitoreos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de la información necesaria para nuestro estudio; análisis documental como revisión bibliográfica sobre temas de costos externos de la contaminación del aire, dispositivos y normas legales, estudios de investigaciones realizadas con el tema de investigación, reglamentos de estándares nacionales de la calidad ambiental del aire.

➤ La observación

Se recopilaron datos que causan efectos en la salud y la contaminación medioambiental del aire. Nos referimos a que el investigador actúa sobre los hechos, con ayuda de los equipos para el control de emisiones que se basan en pruebas aleatorias en altura y plantas de control de humo de los vehículos motorizados; se utilizaron analizadores de gases (equipos). Los hechos ocurren cuando el investigador observa, y se dan con la finalidad de lograr la información.

➤ La entrevista

Se seleccionaron lugares para utilizar a los equipos para el control de las emisiones que se hacen pruebas en el parque de Chontapaccha, plazuelas de Bolognesi y San Pedro, urbanización de Ramón Castilla, Jr. Sucre, Av. Hoyos Rubio. Estos son los lugares de mayor concentración de tráfico y congestión de vehículos de diferentes marcas. Al analizador de gases

diesel, gasolina y gas natural hizo una entrevista a los consumidores de combustibles; la mejor técnica de aplicación de entrevistas exige representatividad de la muestra, para lo cual se requiere conocer las características de los entrevistados, sea sexo, edad, educación, etc. Con la nueva tecnología, consiste en aplicar estos equipos de propiedad de la Municipalidad de Cajamarca y Senati para determinar la entrevista mediante las hojas de control de muestras del laboratorio, de tal modo que el investigador pueda mejorar el logro de información recopilada. La desventaja de la entrevista está en que es más costosa cuando es presencial, porque se van a utilizar los equipos médicos en el hospital de la ciudad de Cajamarca para determinar cuántos son procesos bronquiales, cuántas neumonías, cuántos con tos, y otras enfermedades causantes de efectos de la salud humana. Se elaboran los tipos de cuestionarios según la contaminación del aire.

3.5. Técnicas de procedimientos y análisis de datos

3.5.1. Tratamiento de datos

Se toman datos a través de los equipos que arrojan reportes de medición de contaminación del aire, una vez efectuadas todas las etapas del procedimiento tabular de manera sistematizada con el objetivo de facilitar la estimación de los indicadores de los costos externos de la contaminación del aire, a través del modelo econométrico seleccionado, con la finalidad de obtener validación de las conclusiones.

3.5.2. Análisis de datos

- Análisis y evaluación de la información para cada variable e indicadores seleccionados.
- Representación estadística de las variables e indicadores seleccionados para el estudio, como el manejo tabular, representación gráfica y análisis comparativo de los costos de medición del aire.

➤ El análisis se efectuó a través de un recuento minucioso de los datos para la variable y sus respectivos indicadores; una revisión de los pasos dados en toda la investigación; asimismo, se dio la comprobación del reporte que causa la medición del aire; se aplicó *in situ*; o sea, en los parques, vías, urbanizaciones y jirones de la ciudad de Cajamarca.

➤ La validación de la información a través de la contratación de hipótesis. Estos procedimientos orientan al muestreo, análisis calibración de instrumentos y cálculo de la elección del método específico de análisis, y depende de un número de factores, dentro de los más importantes están las características químicas del contaminante y su estado físico, sólido, líquido y gaseoso.

3.5.3. Ubicación del área de estudio

La estación de la Municipalidad Provincial de Cajamarca ubicada en el Jr. Mariano Melgar N° 311, Barrio la Colmena Baja posee los equipos meteorológicos automáticos (EMA). El muestreador de partículas es el equipo Thermo, el muestreador de gases, llamado tren de muestreo, utilizado para medir el óxido de azufre (SO_x) y óxido de nitrógeno (NO_x), muestreador de alto volumen HiVol), marca Thermo Fisher Scientific, modelo: GUV-15H-1-60, material particulado de PM-10 y PM-2.5. El 8 de marzo 2011 se realizó la ubicación de la estación del monitoreo, con información de gas de monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y material particulado, con apoyo de los equipos de monitoreo continuo, de acuerdo con las normas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Características del lugar. Este analizador se localiza a 10 metros de altura del nivel del suelo, en la azotea del local de propiedad de la Municipalidad de Cajamarca. Su altitud es de 2 636 m.s.n.m.; cuenta con 270 grados sin restricción de flujo de aire, uso

de terreno; este lugar está situado en la zona sur del barrio La Colmena Baja de esta ciudad.

Una vez finalizado todo el monitoreo en todos los puntos, se procedió a descargar los datos obtenidos en una laptop. Los datos obtenidos se comparan con los valores de los ECAs correspondientes a las zonas en las que se encuentran ubicados. Así, los puntos de monitoreo se ubican en las siguientes zonas (ver ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Cajamarca):

Los lugares seleccionados fueron: la Plazuela de Ramón Castilla, el Parque Chontapaccha, el Jr. Sucre, salida a la costa, la Plazuela Bolognesi, la Plazuela de San Pedro y Av. Hoyos Rubio; en donde se instalaron los equipos que fueron utilizados como analizador de gases de monóxido de carbono (CO), se utilizó el EQUIPO GASTESTER-MHC, modelo 218 marca Herman, de propiedad del SENATI, a través del cual se llevó a efecto el control de emisiones basado en pruebas aleatorias en altura. El control de humo de los vehículos que consumen petróleo, gasolina y gas natural contaminan el aire y afectan a los seres humanos. Finalmente, se tomaron las muestras en los lugares mencionados.

Monitoreo microespacial

El único punto de monitoreo microespacial disponible en la ciudad de Cajamarca fue la estación de monitoreo de calidad del aire, ubicada en el Jr. Mariano Melgar N° 311, La Colmena Baja. A través de la red de monitoreo se evaluaron las zonas céntricas de la ciudad, donde existe un notable incremento del parque automotor. Se llevó a efecto en diferentes puntos críticos, los cuales, sin embargo, no se monitorearon para realizar las mediciones; puesto que fue indispensable contar en cada lugar de monitoreo con el acondicionamiento necesario, cuidado, tiempo y disponibilidad del equipo.

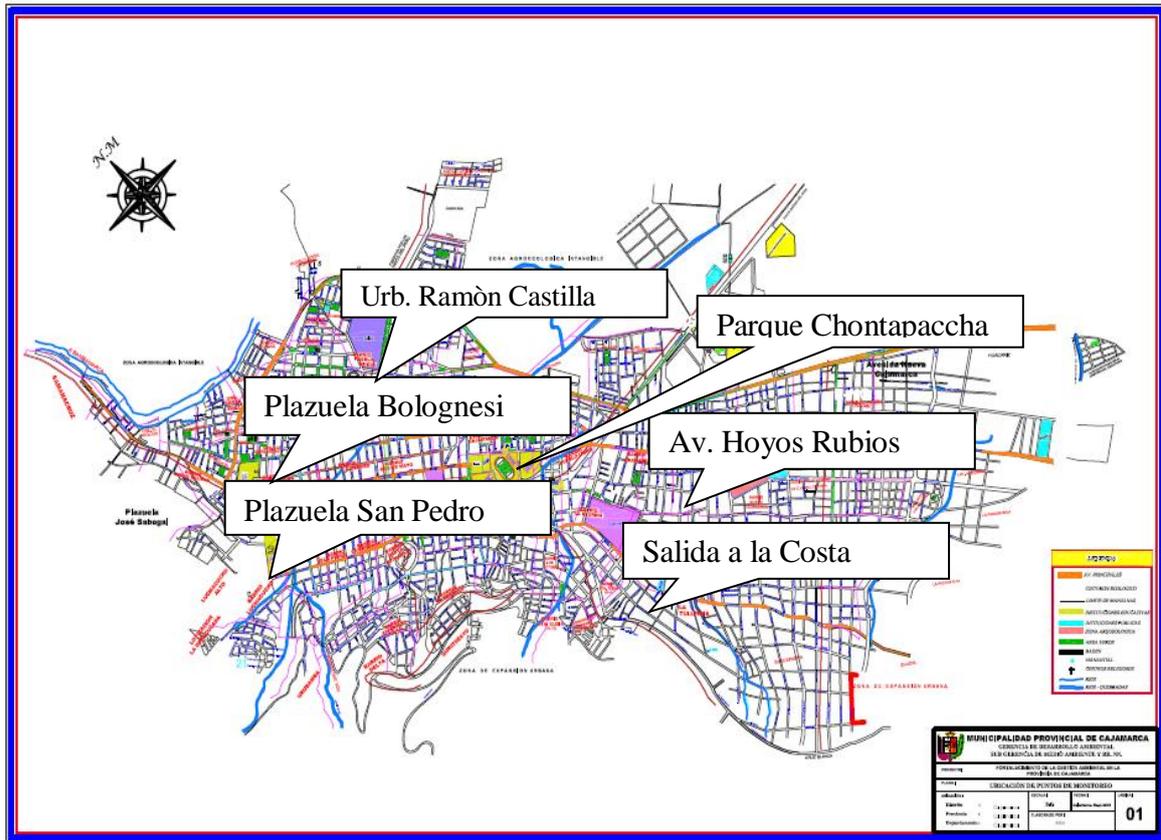


Figura 6. Ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Cajamarca.

3.6. Unidad de análisis, universo y muestra

3.6.1. Unidad de análisis

Las unidades de análisis en este estudio lo constituye diversas emisiones de gases contaminantes: Monóxido de carbono (CO), Dióxido de azufre (SO₂), Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}).

3.6.2. Universo y muestra.

➤ Universo

El parque automotor de la ciudad de Cajamarca en 2009 está conformado, aproximadamente, por 41 541 vehículos, de los cuales el mayor número de unidades está dado por automóviles y mototaxis; lo que constituye el 19,7% y el 19,5%, respectivamente; sin embargo, en 2010 se obtuvo un incremento vehicular que

asciende a 45 120 unidades de vehículos. Por esta razón, se tendrá un porcentaje del 19% en automóviles y 18,83% en mototaxis, respectivamente; mientras que en 2011 se incrementó a 58 030 unidades vehiculares, o sea, el 17,25% en automóviles y el 17,11% en mototaxis. Entonces, en 2012 ostenta un mayor crecimiento vehicular, equivalente a 65 211, lo que representa un porcentaje de 16,45% de mototaxis y 16,58% de automóviles, si comparamos con los años anteriores, respectivamente.

El parque automotor de la ciudad de Cajamarca tiene el mayor porcentaje de vehículos (30,57%) fabricados después de 2006; asimismo, circulan vehículos con una antigüedad mayor de 20 años de fabricación, aproximadamente, el 29%; mientras que vehículos de 2001, el 18%; Hay también hay vehículos con una antigüedad de 34 años, de 1981. Lo que representa el 3,89%, (MPC, 2008).

➤ **Muestra**

Una manera de investigar el estudio, sobre la base de la medición del aire utilizando el equipo como analizador de monóxido de carbono (CO) para el control de emisiones se basa en pruebas aleatorias en altura y plantas de control de humo. Se utilizaron para ello analizadores de gases como el Equipo de Senati. Se tuvo en cuenta que los vehículos que consumen petróleo, gasolina y gas natural contaminan el aire afectando a los seres humanos; por ello, se tomaron las muestras en diferentes lugares de mayor concentración de tráfico en las arterias de la ciudad de Cajamarca, donde existe congestiónamiento de vehículos de diferentes marcas (MPC,2008).

3.7. Modelo econométrico

El presente modelo ha sido diseñado para observar la relación que existe entre las variables seleccionadas para explicar el problema de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca. Este modelo consta de dos ecuaciones de comportamiento: 1)

se obtiene la dependencia que presentan las partículas contaminantes con el costo total destinado a la adquisición, instalación y mantenimiento de los equipos para controlar las emisiones de gases y partículas en la atmósfera, las que fueron detectadas por el monitor ubicado en el barrio de La Colmena Baja de la ciudad de Cajamarca; 2) busca observar de qué manera influyen dichas partículas en el número de consultas médicas otorgadas por enfermedades respiratorias, irritación de los ojos y otros.

El modelo consta de dos relaciones funcionales:

1) La primera ecuación funcional estuvo orientada a observar la relación que existe entre el número de contaminantes (E), los costos total (C), de la contaminación del aire.

$$C = f(E) \quad \text{donde} \quad (1)$$

La variable dependiente se identifica como (C), la variable independiente con (E); lo que significa que los cambios en la variable C modifican el valor de la variable E; ello, en cuanto a la reducción de emisiones de contaminantes del aire y para controlar y observar las normas ambientales.

2) La segunda ecuación funcional fue utilizada para conocer en qué medida las emisiones de contaminantes E se relaciona con Y, daños en la Salud de los habitantes relacionadas con las enfermedades respiratorias:

$$Y = f(E) \quad \text{donde} \quad (2)$$

La variable dependiente es (Y) y la variable independiente (E); los cambios en E modifican los valores de Y en el sentido del incremento de los casos por enfermedades respiratorias, al elevarse las emisiones de partículas al aire y no observar las normas ambientales (**Reyes y Alvarado, 1986**).

Hipótesis de comportamiento

La hipótesis para la primera función se expresa de la manera siguiente:

El cambio de E respecto de C tiene relación inversa.

$$\frac{dE}{dC} < 0$$

La hipótesis para la segunda ecuación se identifica como la relación entre variables de Y y E; esta debe ser positiva.

$$\frac{dY}{dE} > 0$$

Estimación de parámetros

Para probar las hipótesis se utilizó el método de regresión lineal, a efectos de estimar los parámetros de la relación entre las variables dependientes e independientes de las ecuaciones (1) y (2) mencionadas anteriormente.

Si se supone una relación lineal entre las variables consideradas, las ecuaciones de regresión son las siguientes (**Reyes y Alvarado 1986**):

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 E_{IT} + \alpha_2 \quad (3)$$

$$E_T = \beta_0 + \beta_1 C_{1t} + \beta_2 \quad (4)$$

Si el modelo de regresión lineal cumple con los supuestos antes mencionados, entonces los estimadores de parámetros obtenidos a partir de este método son óptimos, es decir, son no sesgados, consistentes y eficientes.

Derivación de los estimadores mínimos cuadrados.

Dada la función de regresión de dos variables. (**Reyes y Alvarado, 1986**).

$$Y = f(E) \quad (5)$$

Verificación estadística

Una vez obtenidos los parámetros se procedió a medir su confiabilidad o precisión estadísticamente. Se observó mediante el error estándar que es igual a la varianza de la distribución muestral entre el tamaño de la muestra. Entonces para probar la significancia de los estimadores, se obtuvieron sus varianzas (**Reyes y Alvarado, 1986**).

$$S^2 = \hat{\sigma}_u^2 = \sum_{uj}^2 / n - k$$

Dónde: k es el número de parámetros estimados.

La matriz de varianza – covarianza de $(\hat{\alpha})$ se obtuvo a partir de:

$$\text{Var-cov}(\hat{\alpha}) = \sigma^2 (X' X)^{-1}$$

Las varianzas para $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2)$ con datos originales fueron calculados con las ecuaciones siguientes:

$$\text{Var } \hat{\alpha}_1 = \sigma_u^2 \sum E_1^2 - (\sum E_1)^2 \text{ varianza } \hat{\alpha}_1$$

$$\text{Var } \alpha_2 = \sigma_u^2 (\sum E_1^2) \text{ Varianza } \hat{\alpha}_2$$

Coefficiente de determinación múltiple (R^2)

Para constatar el ajuste de la línea de regresión al conjunto de datos se procedió a calcular el coeficiente de determinación (R^2). Su valor midió la proporción de la variación total en Y, explicada por la línea de regresión. Este valor debe ser negativo con límites entre (0,1), es decir, $0 \leq R^2 \leq 1$. Cuando el coeficiente de determinación es igual a una existe ajuste perfecto, es decir, que la recta de regresión explica el 100 por ciento de las variaciones en Y; en caso contrario, cuando es menor a una y cercana a cero ($0 < R^2 < 1$), la interacción de las variables Xs con la variable dependiente Y

disminuye; o bien, cuando es cero se considera que no existe ajuste perfecto de la recta de regresión muestral a los datos recogidos de las diferentes muestras de emisiones contaminantes. (Reyes y Alvarado, 1986).

Cálculo del coeficiente de determinación

“Error total” $\sum (Y_j - \bar{Y})^2 =$ “Error explicado” $\sum (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2 =$ “Error residual” $\sum (Y_j - \hat{Y}_j)^2$

Entonces:

$$\text{Var-cov}(\hat{\alpha}) = \sigma^2 (X'X)^{-1}$$

Las varianzas para $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2)$ con datos originales fueron calculadas con las ecuaciones siguientes:

$$\text{Var } \hat{\alpha}_1 = (\sum E_1^2 - (\sum E_1)^2) \text{ varianza } \hat{\alpha}_1$$

$$\text{Var } \alpha_2 = (\sum E_1^2) \text{ Varianza } \hat{\alpha}_2$$

Los estimadores no sesgados de las varianzas muestrales para α_1 y α_2 fueron los siguientes:

$$S^2 \alpha_1 = (\sum E_1^2 - (\sum E_1)^2)$$

$$S^2 \hat{\alpha}_2 = (\sum E_1^2 - (\sum E_1)^2)$$

Coefficiente de determinación múltiple (R^2)

Para constatar ajuste de la línea de regresión al conjunto de datos se procedió a calcular el coeficiente de determinación (R^2). Su valor midió la proporción de la variación total en Y, explicada por la línea de regresión. Este valor debe ser negativo con límites entre (0,1), es decir, $0 \leq R^2 \leq 1$. Cuando el coeficiente de determinación es igual a una existe ajuste perfecto, es decir, que la recta de regresión explica el 100 por ciento de las variaciones en Y; en caso contrario, cuando es menor a una y cercana a cero ($0 < R^2 < 1$), la interacción de las variables Xs con la variable dependiente Y

disminuye; o bien, cuando es cero, se considera que no existe ajuste perfecto de la recta de regresión muestral a los datos recogidos de las diferentes muestras de emisiones contaminantes. **(Reyes y Alvarado, 1986).**

Cálculo del coeficiente de determinación

“Error total” $\sum (Y_j - \bar{Y})^2 =$ “Error explicado” $\sum (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2 =$ “Error residual” $\sum (Y_j - \hat{Y}_j)^2$

Entonces:

$$R^2 = \frac{\sum \hat{Y}_j^2}{\sum Y_j^2} = 1 - \frac{\sum \mu_j^2}{\sum Y_j^2} = \hat{\alpha}_j \sum y_j E_1 + \hat{\alpha}_2 \sum Y_j^1 \sum Y_j^2$$

Debido a que el número de variables independientes se incrementan en el modelo se calcula el R^2 ajustada, esto es:

$$\text{O bien } R^2 = 1 - \frac{\mu^2}{y_1}$$

$$R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{(n-1)}{(n-k)} \text{ con } (n-1) \text{ y } (n-k) \text{ grados de libertad.}$$

En forma matricial R^2 Puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{\hat{\alpha}' X'y - ny_2}{y'y - ny_2}$$

Prueba de hipótesis

Cabe hacer notar que las estadísticas anteriores se refieren a la estimación puntual de los parámetros. En este apartado se hace referencia a la estimación intervalo. Para observar qué tan confiables son los estimadores, es decir, $E(\hat{\alpha}_1) = \alpha_1$, se utiliza la distribución T de Student con un nivel de significación con un nivel de significación **(Reyes y Alvarado 1986).**

$$T\alpha_1 = (\hat{\alpha}_1 - \alpha_1) \overline{\sigma}_{\alpha_1} \text{ para } \alpha_1$$

$$T\alpha_2 = (\hat{\alpha}_2 - \alpha_2) \overline{\sigma}_{\alpha_2} \text{ Para } \alpha_2$$

Coefficiente de determinación $R^2 = r^2$

Se empleó para una mejor interpretación del grado de relación entre dos variables, el que está determinado por $R^2 = r^2$. Este debió multiplicarse por 100 para indicar el porcentaje de la relación que existe entre estas dos variables.

Este método enuncia lo siguiente: si las variables “x”, “y” son aleatorias, y estamos en la medida del grado de dependencia lineal entre ellas, estamos frente a un problema de correlación lineal (**Reyes y Alvarado, 1986**).

Estimación de la regresión lineal

La regresión lineal fue útil para averiguar la forma probable de las relaciones entre variables encontrándose un modelo adecuado que nos permitió estimar o predecir el valor de la variable dependiente, dando un valor a la variable independiente.

Si usamos el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios nos permite estimar una ecuación lineal que representa una línea recta óptima que se ajusta a la muestra de las observaciones de “y” y “x”, en el sentido que minimiza la suma de cuadrados de las desviaciones en cada punto observado.

El diagrama de dispersión insinúa una relación de tipo lineal con pendiente positiva B_1 . Debe quedar claro además que no se puede trazar una línea recta que pase por cada punto.

Existe entonces una variación que interfiere la relación de “Y” con “X”. La relación lineal quedó establecida a través de la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (1)$$

La estimación de β_0 y β_1 , parámetros de la ecuación son los objetivos más importantes que tratan de explicar las desviaciones de “Y” a lo largo del eje vertical. Estos valores elevados al cuadrado permitieron obtener la suma de cuadrados.

Para los cálculos se utilizó la fórmula equivalente para estimar el valor de β_1 dada la siguiente ecuación:

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (3) \text{ y Donde:}$$

y_i = Valores de la variable dependiente, x_i = Valores de la variable independiente.

\bar{y} = Promedio de la variable dependiente, \bar{x} = Promedio de la variable independiente

Correlación rectilínea de Pearson” r ”. Como podemos apreciar en los coeficientes de correlación “ r ” de Pearson cuantifica la relación entre las dos variables, este toma valores comprendidos entre -1 y +1 pasando por 0.

El $r = -1$ comprende una correlación negativa perfecta. El $r = +1$ comprende una correlación positiva perfecta. El $r = 0$, no existe ninguna correlación entre variables (**Reyes y Alvarado, 1986**).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del modelo econométrico

4.1.1. Costo Social año 2012

A continuación se presentan modelos econométricos construidos que consideran los costos sociales correspondientes a 2012 y 2013. Se consideró la afluencia vehicular por cambio de ruta dispuesto por la Municipalidad Provincial de Cajamarca; los resultados obtenidos se señalaron en la estación de monitoreo de la calidad del aire de La Colmena Baja, Municipalidad Provincial Cajamarca.

a) Consultas médicas y emisiones

El modelo econométrico planteado permitió relacionar el número de consultas médicas con las emisiones.

En la tabla 6 se puede observar que el modelo econométrico permite relacionar el número de consultas médicas con las emisiones. Se tuvo que estimar los costos para reducir la contaminación ambiental del aire. Por ello, se usó el programa Excel.

Tabla 5. Consultas médicas y emisiones

Meses	Consultas médicas (Y)	Emisiones ug/m ³
Marzo	310,00	181,44
Abril	165,00	130,40
Mayo	5 581,00	1 076,60
Junio	6 655,00	1 194,32
Julio	5 788,00	1 181,00
Agosto	620,00	504,00
Setiembre	206,00	374,00
Octubre	250,00	383,00
Noviembre	520,00	353,00
Diciembre	576,00	282,00
Total	20 671,00	5 659,76

Fuente: Dirección Regional de Salud, año 2012

$$Y_j = -1534,97 + 6,36 E$$

$$(-4,06) (11,63)$$

$$(378,22) (0,547354)$$

El modelo evidencia una relación directa entre las emisiones y el número de consultas médicas, tanto así es que por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se elevó, las consultas médicas se incrementaron en 6,36 veces. En el caso de que se hubiese incrementado las emisiones a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se habría tenido 636 consultas médicas. Cabe precisar que la variable independiente (emisiones) explica el modelo en un 94,4%, que viene a ser el coeficiente de determinación que tiene un porcentaje de emisiones, variable independiente, y las consultas médicas que tuvieron un efecto, constituyen la variable dependiente, correspondiente al año 2012 (Tabla 5).

Tabla 6. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados

Regresores	Coefficientes	Estadístico T	Desviación típica	R	R^2	\bar{R}^2	F
$\alpha_0 = \text{Consultas}$	-1 534,97	-4,06	378,22	0,972	0,94	0,93	135,20
$\alpha_1 = \text{Emisiones}$	6,36	11,63	0,547354				
		$\bar{R}^2 =$					F=135,20
$R^2 =$	0,944						
T $\alpha_0 =$	-4,06	T $\alpha_1 =$	11,63				
$\sigma \alpha_0 =$	378,22	$\sigma \alpha_1 =$	0,547354				

$R^2 = 0,944$, el coeficiente de determinación (R^2) tiene un valor de 94,4%, el cual explica en dicho porcentaje de emisiones (variable independiente) a la variable dependiente (Consultas médicas).

$R^2 = 0,937$, la variable dependiente (Consultas médicas) es explicada por la variable independiente (emisiones) con un 93,7%, según el coeficiente de determinación ajustado.

T $\alpha_0 = -4,06$ es el valor de la prueba T-student calculado, el cual se utiliza en la prueba de hipótesis, para el estimador α_0 .

$T_{\alpha_1} = 11,63$ es el valor de la prueba T-student calculado, el cual se utiliza en la prueba de hipótesis, para el estimador α_1 .

$\sigma_{\alpha_0} = 378,22$ es la desviación estándar, respecto del estimador α_0 , el cual nos dice que es un valor de 378,22, que varía en relación con la media.

$\sigma_{\alpha_1} = 0,547$ es la desviación estándar, para el estimador α_1 , el cual indica que las emisiones varían en 0,547 respecto del promedio.

$F = 135,20$, este valor es la prueba F calculada. Se lo estaría usando como la prueba de hipótesis del análisis de varianza. Donde la hipótesis nula (H_0) plantea que todos los estimadores de las consultas médicas en relación con las emisiones son cero; entonces la hipótesis alternante (H_a) plantea que no todos los estimadores de consultas médicas con respecto a las emisiones son cero.

Prueba de hipótesis:

Prueba de hipótesis t student:

$H_0: \alpha_0, \alpha_1 = 0$

$H_a: \alpha_0, \alpha_1 \neq 0$

Se tiene el valor teórico de la prueba t de student, para lo cual se considera un nivel de confianza del 95% y 8 grados de libertad ($n-2: 10-2=8$, se tiene: $\pm 2,3060$). Al verificar los valores críticos de los regresores se tiene que estos son mayores al t_t ; por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Prueba de hipótesis F:

$H_0: \alpha_0 = \alpha_1$

$H_a: \alpha_0 \neq \alpha_1$

La toma de decisión se procede de la siguiente forma:

Si: $F_0 > F_1$, se acepta la H_0 y se rechaza H_a

Si: $F_0 < F_1$, se rechaza la H_0 y se acepta H_a

Si tomamos en cuenta que el valor $F_0 = 135,20$ y F_1 es el valor teórico, $F_1 = 5,32$, se llega a rechazar la hipótesis nula (H_0), y se acepta la hipótesis alternante (H_a), la cual nos dice que todas las consultas médicas con respecto a las emisiones no son iguales a cero. Se plantea en lo que se refiere al análisis de varianza se tiene la prueba F; para ello consideramos el valor teórico: 5,32 ($k-1: 2-1=$; $n-k: 10-2=8$). El valor calculado de la prueba F es 135,20; siendo mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula, lo cual se tendría que cada estimador es diferente.

b) Consultas médicas y tipo de emisiones

El modelo siguiente relaciona el número de consultas médicas en razón del tipo de emisiones; para lo cual se ha utilizado la siguiente información:

En la tabla 8 se observa el modelo que relaciona el número de consultas médicas en razón de las emisiones. Para ello, se ha utilizado el uso de estas variables que permiten la construcción de un modelo econométrico, con el uso de Excel para estimar los costos con la siguiente información.

Tabla 7. Consultas médicas y tipos de emisiones

Meses	Consultas Médicas (y)	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂
Marzo	310,00	91,00	52,00	24,04	3,60	10,80
Abril	165,00	54,00	53,00	15,00	1,20	7,20
Mayo	5 581,00	796,00	142,00	104,00	6,40	28,20
Junio	6 655,00	895,00	146,92	116,00	3,60	32,80
Julio	5 788,00	886,00	141,00	108,00	16,00	30,00
Agosto	620,00	341,00	83,00	52,00	12,00	16,00
Setiembre	206,00	265,00	63,00	23,00	12,00	11,00
Octubre	250,00	256,00	58,00	45,00	12,00	12,00
Noviembre	520,00	227,00	60,00	50,00	4,00	12,00
Diciembre	576,00	225,00	20,00	27,00	4,00	6,00
Total	20 671,00	4 036,00	818,92	564,04	74,80	166,00

Fuente: Estación La Colmena Baja-MPC-2012.

$$Y_j = -864,26 + 8,13 \text{ CO} + 1,41 \text{ PM}_{10} - 19,03 \text{ PM}_{2,5} - 116,08 \text{ NO}_2 + 88,94 \text{ SO}_2$$

$$(-1,89) (3,24) (0,07) (-0,80) (-3,42) (0,55) (457,69) (2,51) (21,67) (23,66) (33,9) (161,62)$$

Al respecto, la ecuación de regresión para evaluar la relación entre las Variables: CO, PM10, PM2.5, NO2, SO2 utilizados en el modelo vienen a explicar el número de consultas médicas en un 98,8%. Del modelo se deduce que si se incrementa en una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, PM10 y SO2 se tendría un incremento de las consultas médicas en 8,13; 1,41 y 88,94, respectivamente. Sin embargo, ante la subida de una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5 y NO2, se obtendría una reducción en las consultas médicas de 19,03 y 116,08, respectivamente (**Tabla 7**).

Tabla 8. Prueba de significancia para la ecuación y los parámetros

Regresores	Coefficientes	Estadístico t	Desviación típica	R	R ²	\bar{R}^2	F
$\alpha_0 =$	-864,26	-1,89	457,69	0,99	0,98	0,97	63,77
$\alpha_1 = \text{CO}$	8,13	3,24	2,51				
$\alpha_2 = \text{PM}_{10}$	1,41	0,07	21,67				
$\alpha_3 = \text{PM}_{2,5}$	-19,03	0,80	23,66				
$\alpha_4 = \text{NO}_2$	-116,08	-3,42	33,94				
$\alpha_5 = \text{SO}_2$	88,94	0,55	161,62				

R ² =	0,988	—	R ² =	0,972
t $\alpha_0 =$	-864,26		t $\alpha_1 =$	8,13
t $\alpha_2 =$	1,41		t $\alpha_3 =$	-19,03
t $\alpha_4 =$	-116,08		t $\alpha_5 =$	88,94
$\sigma \alpha_0 =$	457,69		$\sigma \alpha_1 =$	2,505402
$\sigma \alpha_2 =$	21,67		$\sigma \alpha_3 =$	23,659461
$\sigma \alpha_4 =$	33,94		$\sigma \alpha_5 =$	1161,61514
F =	63,77			

R²: suma de cuadrados de regresores entre la suma de cuadrados de errores.

F: se usa para el análisis de la varianza.

t: son resultados de la prueba de t- student para el estimador y también se conoce como t calculado: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_4$.

σ_{α_0} = Desviación típica o estándar del estimador α_0

σ_{α_1} = Desviación típica o estándar del estimador α_1

Prueba de Hipótesis:

Prueba de hipótesis t student:

Donde la hipótesis nula (H_0) plantea que todas las estimadores de las consultas médicas en relación a las (Emisiones), son cero; entonces la hipótesis alternante (H_a) plantea que no todos los estimadores de consultas médicas con respecto a las emisiones diferentes de cero.

$H_0: \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 0$

$H_a: \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 \neq 0$

R^2 : suma de cuadrados de regresores entre la suma de cuadrados de errores.

F: se usa para el análisis de la varianza.

t: son resultados de la prueba de t- student para el estimador y también se conoce como t calculado: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_4$.

σ_{α_0} = Desviación típica o estándar del estimador α_0

σ_{α_1} = Desviación típica o estándar del estimador α_1

Al respecto, muestra el valor teórico de la prueba t de student, para lo cual se considera un nivel de confianza del 95% y 4 grados de libertad ($n-2: 10-6=4$).

Se utiliza para obtener la tabla de datos estadísticos de la tabla. Para el caso, se recurre a la prueba de t- student, de donde se tiene: $t_t: \pm 2,7764$. Al verificar los valores críticos de los regresores se tiene que estos son mayores al t_t , solo para los casos CO y

NO₂; por tanto, se rechaza la hipótesis nula más no para los casos del parámetro de posición (α_0), PM₁₀ PM_{2.5} y SO₂.

Prueba de hipótesis F:

La toma de decisión se procede de la siguiente forma.

Si: $F_0 > F_1$ Se acepta la H₀ y se rechaza H_a

Si: $F_0 < F_1$ Se rechaza la H₀ y se acepta H_a

Teniendo el valor $F_0 = 63,77$ y F_1 es el valor teórico, $F_1 = 5,19$, se llega a rechazar la hipótesis nula (H₀), y se acepta la hipótesis alternante (H_a) la cual nos dice que todas las consultas médicas con respecto a las emisiones no son iguales a cero.

H₀: $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$ (todos los estimadores son iguales a cero)

H_a: $\alpha_0 \neq \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4 \neq \alpha_5$ (todos los estimadores no son iguales a cero).

En lo que se refiere al análisis de varianza se tiene la prueba F, para ello consideramos el valor teórico, el cual es: 5,19 (k-1: 6-1=3; n-k: 10-6=4), k significa el número de estimadores y el valor calculado de la prueba F es 63,77; lo que resulta mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula, de lo que se tendría que cada estimador es diferente.

Al respecto, la ecuación de regresión para evaluar la relación entre las variables: CO, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ utilizados en el modelo vienen a explicar el número de consultas médicas en un 98,8%.

4.1.2. Costo social año 2013

a) Consultas médicas y emisiones

En la tabla 9 se observa el modelo que relaciona el número de consultas médicas en razón de las emisiones; para ello, se ha utilizado el uso de estas variables, que permita la construcción de un modelo econométrico, con el uso de Excel para estimar los costos con la siguiente información:

Tabla 9. Consultas médicas y emisiones.

Meses	Consultas médicas (y)	Emisiones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Marzo	279,00	248,00
Abril	148,00	155,00
Mayo	5 022,00	843,00
Junio	5 987,00	921,00
Julio	5 209,00	911,00
Agosto	1 506,00	502,00
Setiembre	185,00	366,00
Octubre	743,00	531,00
Noviembre	468,00	343,00
Diciembre	558,00	308,00
Total	20 105,00	5 128,00

Fuente: Dirección Regional de Salud, año 2013

$$Y_j = -2109,45 + 8,03E$$

$$(-4,16) (9,17)$$

$$(507,58) (0,876339)$$

Las emisiones registradas en el 2013 permiten explicar el número de consultas médicas durante el 2013 en un 91,3%, según el coeficiente de determinación. En el modelo econométrico se evidencia una relación directa entre las emisiones y el número de consultas, tan así es que por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se eleve, las consultas se incrementarían en 8,03 veces. Si se hubiese dado un incremento de emisiones a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se habría tenido 803 consultas médicas adicionales.

Tabla 10. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados concernientes a casos de consultas médicas y emisiones.

Regresores	Coefficientes	Estadística (t)	Desviación típica	R ²	R ²	\bar{R}^2	F
$\alpha_0 =$	-2109,45	-4,16	507,58	0,956	0,913	0,902	84,05
$\alpha_1 = \text{Emisiones}$	8,03	9,17	0,876339				

$$R^2 = 0,913 \qquad \bar{R}^2 = 0,902$$

$$T\alpha_0 = -4,16 \qquad t \alpha_1 = 9,17$$

$$\sigma\alpha_0 = 507,58 \qquad \sigma \alpha_1 = 0,876339$$

$$F = 84,05$$

$R^2 = 0,913$. El coeficiente de determinación (R^2) tiene un valor de 91,3%, el cual explica en dicho porcentaje de emisiones (variable independiente) a la variable dependiente (consultas médicas).

$\bar{R}^2 = 0,902$. La variable dependiente (consultas médicas) es explicada por la variable independiente (emisiones) de un 90,2%, según el coeficiente de determinación ajustado.

$T\alpha_0 = -4,16$. Es el valor de la prueba T-student calculado, el cual será utilizado en la prueba de hipótesis para el estimador α_0 .

$T\alpha_1 = 9,17$. Es el valor de la prueba T-student calculado, el cual será utilizado en la prueba de hipótesis para el estimador α_1 .

$\sigma\alpha_0 = 507,58$. Es la desviación estándar respecto del estimador α_0 , el cual nos dice que es un valor de 507,58, que varía en relación con la media.

$\sigma\alpha_1 = 0,876$. Es la desviación estándar, para el estimador α_1 , el cual indica que las emisiones varían en 0,876 respecto del promedio.

$F = 84,05$. Este valor es la prueba F calculada; se lo usaría, pero como la prueba de hipótesis del análisis de varianza.

Prueba de hipótesis:

Prueba de hipótesis T Student:

H₀: $\alpha_0, \alpha_1 = 0$. La hipótesis nula plantea que los estimadores (α_0, α_1) son iguales que cero.

H_a: $\alpha_0, \alpha_1 \neq 0$. La hipótesis alterna plantea que los estimadores (α_0, α_1) son diferentes que cero.

Se muestra el valor teórico de la prueba T de Student, para lo cual se considera un nivel de confianza del 95% y 8 grados de libertad ($n-2$; $10-2=8$). Se utiliza para obtener los datos estadísticos de la tabla; para el caso se refiere a la prueba de T student y se tiene: $t_t: \pm 2,3060$. Al verificar los valores críticos de los regresores se tiene que estos son mayores al T_t ; por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Prueba de Hipótesis F:

H₀: $\alpha_0 = \alpha_1$. La hipótesis nula plantea que ambos estimadores son iguales (α_0, α_1).

H_a: $\alpha_0 \neq \alpha_1$. La hipótesis alterna plantea que los estimadores son diferentes.

En lo que se refiere al análisis de varianza se tiene la prueba F. Para ello, consideramos el valor teórico, 5,32 ($k-1$: $2-1=1$; $n-k$: $10-2=8$), donde k significa el número de estimadores y el valor calculado de la prueba F es 84,05. Este valor resulta mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula. Finalmente, se tendría que cada estimador es diferente.

b) Consultas médicas y tipo de emisiones

En la tabla 11 se observa el modelo que relaciona el número de consultas médicas en razón del tipo de emisiones. Bajo esta perspectiva, los efectos de la contaminación en la ciudad de Cajamarca se toman graves, como resultado de los altos niveles de concentración de contaminantes. Para ello, se ha utilizado la siguiente información:

Tabla 11. Consultas médicas y tipos de emisiones

Meses	Consultas Médicas(y)	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	SO ₂
Marzo	279,00	85,00	50,00	96,00	4,00	13,00
Abril	148,00	52,00	56,00	30,00	4,00	13,00
Mayo	5022,00	692,00	104,00	26,00	8,00	13,00
Junio	5987,00	780,00	51,00	73,00	4,00	13,00
Julio	5209,00	810,00	52,00	28,00	8,00	13,00
Agosto	1506,00	320,00	130,00	31,00	8,00	13,00
Setiembre	185,00	212,00	60,00	73,00	8,00	13,00
Octubre	743,00	368,00	113,00	29,00	8,00	13,00
Noviembre	468,00	211,00	43,00	59,00	4,00	26,00
Diciembre	558,00	102,00	747,00	112,00	4,00	13,00
Total	20 105,00	3632,00	1406,00	557,00	60,00	143,00

Fuente: Estación La Colmena Baja-MPC-2013.

$$Y_I = 1554,80 + 8,57CO + 2,93PM_{10} - 0,51PM_{2,5} - 315,54 NO_2 - 66,48 SO_2$$

$$(0,93) (10,85) (0,34) (-0,06) (-2,19) (-1,25)$$

$$(1669,60) (0,79) (8,58) (8,30) (144,30) (53,09)$$

Las variables: CO, PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂ utilizadas en el modelo econométrico vienen a explicar el número de consultas médicas en un 97,4%. Del modelo se deduce que si se incrementa en una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO y PM₁₀ se tendría un incremento de las consultas médicas en 8,57 y 2,93, respectivamente. Sin embargo, ante la subida de una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO₂, PM_{2,5} y NO₂, se obtendría una reducción en las consultas médicas de 0,51, 315,54 y 66,48, respectivamente.

Tabla 12. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados de consultas médicas y emisiones.

Regresores	Coefficiente	Estadístico	Desviación T pica	R	R ²	\bar{R}^2	F
α_0 =	1554,80	0,93	1669,60				
α_1 = CO	8,57	10,85	0,79	0,987	0,974	0,941	29,81
α_2 = PM 10	2,93	0,34	8,58				
α_3 =PM2.5	-0,51	0,06	8,30				
α_4 =NO2	-315,54	--2,19	144,30				
α_5 =SO2	-66,48	-1,25	53,09				
				$\bar{R}^2 =$			
R ² =	0,974				0,941		
t α_0 =	1554,80			t α_1 =	8,57		
t α_2 =	2,93			t α_3 =	-0,51		
t α_4 =	-315,54			t α_5 =	-66,48		
$\sigma \alpha_0$ =	1669,60			$\sigma \alpha_1$ =	0,789564		
$\sigma \alpha_2$ =	8,58			$\sigma \alpha_3$ =	8,299397		
$\sigma \alpha_4$ =	144,30			$\sigma \alpha_5$ =	53,094959		
F =	29,81						

R²: suma de cuadrados de regresores entre la suma de cuadrados de errores.

F: se usa para el análisis de la varianza.

t: son resultados de la prueba de T- student para el estimador y también se conoce como t calculado $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$.

$\sigma \alpha_0$ = Desviación típica o estándar del estimador α_0

$\sigma \alpha_1$ = Desviación típica o estándar del estimador α_1

$\sigma \alpha_3$ = Desviación típica o estándar del estimador α_3

$\sigma \alpha_4$ = Desviación típica o estándar del estimador α_4

$\sigma \alpha_5$ = Desviación típica o estándar del estimador α_5

Prueba de Hipótesis

Prueba de Hipótesis T Student:

H₀: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 0$ (todos los estimadores son iguales que cero)

H_a: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 \neq 0$ (todos los estimadores no son iguales que cero).

A continuación se tiene el valor teórico de la prueba T de student, para lo cual se considera un nivel de confianza del 95% y 4 grados de libertad ($n-6: 10-6=4$). Se utiliza para obtener los datos estadísticos de la tabla. Para tal caso se recurre a la prueba de T-student y se tiene: $t: \pm 2,7764$.

Al verificar los valores críticos de los regresores se observa que estos son mayores que t_t , solo para el caso CO; por tanto, se rechaza la hipótesis nula; mas no así para los casos del parámetro de posición (α_0), PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y SO₂.

Prueba de hipótesis F

H₀: $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$ (todos los estimadores son iguales que cero)

H_a: $\alpha_0 \neq \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4 \neq \alpha_5$ (todos los estimadores no son iguales que cero).

En lo que se refiere al análisis de varianza se tiene la prueba F. Para ello, consideramos el valor teórico de 5,19 ($k-1: 6-1=5$; $n-k: 10-6=4$), donde k significa el número de estimadores y el valor calculado de la prueba F es 29,81. Este valor resulta mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula. Finalmente, se tendría que cada estimador es diferente.

4.2.1. Costo privado año 2012

a) Emisiones y costos

En la tabla 13, con el uso del programa Excel, se procedió a estimar el modelo econométrico y se obtuvo el siguiente reporte.

Tabla 13. Emisiones y costos de la contaminación del aire

Meses	Emisiones ug/m ³ (E)	%	Costos (C)	%
Marzo	181,44	3,20	94,40	0,88
Abril	130,40	2,33	31,00	0,32
Mayo	1076,60	19,02	2000,00	18,73
Junio	1194,32	21,10	4745,87	44,45
Julio	1181,00	20,86	2305,00	21,59
Agosto	504,00	8,91	295,00	2,76
Septiembre	374,00	6,61	165,00	1,54
Octubre	383,00	6,76	450,00	4,21
Noviembre	353,00	6,23	90,00	0,84
Diciembre	282,00	4,98	500,00	4,68
Total	5659,76	100,00	10 676,2	100,00

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2012.

$$E_i = 308,11 + 0,24C$$

$$(3,78) (5,33)$$

$$(81,57) (0,045303)$$

La ecuación de regresión refleja que las emisiones están explicadas por los costos en un 78%; pues, se encuentran en una relación directa del modelo, en el cual se deduce que por cada S/.1,00 invertido, las emisiones tienden a incrementarse en 0,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Este fenómeno implica que debe mejorarse la política de mitigación de emisiones; puesto que lo lógico debería ser que por cada S/. 1,00 invertido, las emisiones tendrían que reducirse.

Al respecto, la ecuación de regresión es para evaluar la relación que existe entre el gasto relacionado con la adquisición, la instalación y el mantenimiento de los mecanismos de control de las emisoras. El hecho arroja el siguiente resultado.

Tabla 14. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados.

Regresores	Coefficientes	Estadístico t	Desviación típica	r	R ²	\bar{R}^2	F
$\beta_0 =$	308,11	3,78	81,57	0,883	0,780	0,753	28,43
$\beta_1 =$ Emisiones	0,24	5,33	0,045303				
$\bar{R}^2 =$							
$R^2 =$	0,780				0,753		
$t \beta_0 =$	3,78				$t \beta_1 =$	5,33	
$\sigma \beta_0 =$	81,57				$\sigma \beta_1 =$	0,045303	
$F =$	28,43						

$R = 0,88$. Indica que existe una relación directa entre las variables (dependiente, independiente), además dicha relación es alta.

$R^2 = 0,780$. El coeficiente de determinación (R^2) es de 78%, pues, permite evidenciar que la variable independiente (costos), explica a la variable dependiente (emisiones) en el porcentaje mencionado.

$R^2 = 0,753$. El coeficiente de determinación ajustado (R^2) de 75,30% permite evidenciar que la variable independiente (costos) explica a la variable dependiente (emisiones) en el porcentaje antes descrito.

$T\beta_0 = 3,78$. Es el valor calculado de la prueba T- student, el cual será utilizado en la prueba de hipótesis, para el estimador β_0 .

$T\beta_1 = 5,33$. Es el valor calculado de la prueba T - student, el cual será utilizado a la prueba de hipótesis para el estimador β_1 .

$\sigma\beta_0 = 81,57$. Es la desviación estándar respecto del estimador β_0 , el cual indica que varía respecto de la media es 81,57. $\sigma\beta_1 = 0,0453$.

Es la desviación estándar, respecto del estimador β_1 , el cual indica que los costos varían en dicho valor con respecto a la media.

$F = 28,43$. Es el valor calculado que toma F, (Prueba F), el cual será usado para el análisis de varianza (Prueba de Hipótesis).

Dónde:

R^2 : Suma de cuadrados de regresores entre la suma de cuadrados de errores.

F: se usa para el análisis de la varianza.

t_{β_0} : son resultados de la prueba de Tt- student para el estimador; también se conoce como t calculado β_0

t_{β_1} : son resultados de la prueba de T- student para el estimador y también se conoce como t calculado β_1

$\sigma\beta_0$ = Desviación típica o estándar del estimador β_0

$\sigma\beta_1$ = Desviación típica o estándar del estimador β_1

Prueba de hipótesis

Prueba de Hipótesis T-student

H₀: $\beta_0, \beta_1 = 0$. La hipótesis nula plantea que ambos estimadores son iguales (β_0, β_1).

H_a: $\beta_0, \beta_1 \neq 0$. La hipótesis alterna plantea que los estimadores son diferentes.

A continuación se tiene el valor teórico de la prueba T de Student, para el cual se considera un nivel de confianza del 95% y 8 grados de libertad ($n-2: 10-2 = 8$). Se utiliza

para obtener los datos estadísticos de la tabla. Para el caso se refiere a la prueba de T student y se tiene: $t: \pm 2,3060$.

Al verificar los valores críticos de los regresores se tiene que estos son mayores al t , por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Prueba de Hipótesis F

H₀: $\beta_0 = \beta_1$. La hipótesis nula plantea que ambos estimadores son iguales (β_0, β_1)

H_a: $\beta_0 \neq \beta_1$. La hipótesis alterna plantea que los estimadores son diferentes.

En lo que se refiere al análisis de varianza se tiene la prueba F. Para ello, consideramos el valor teórico de 5,32 ($k-1: 2-1=1$; $n-k: 10-2=8$), donde k significa el número de estimadores, y el valor calculado de la prueba F es 28.43. Este es mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula; de donde se tendría que cada estimador es diferente entre sí.

Se ha invertido S/. 10 676,27 con la finalidad de controlar la contaminación; puesto que, en los meses de marzo a julio arroja las emisiones de 17,67% $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un 20,71% de inversión. Se tendrá relación con los costos de contaminación. En los meses de agosto a diciembre se tendrá una reducción de 3,92% $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de emisiones; luego, aumenta a 1,92% de costos. Entonces, se puede decir al respecto que el costo privado de los meses de marzo a diciembre ha aumentado a S/. 1,78% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entonces, el costo privado debería aumentar a 3,80% $\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente al año 2012 (**Tabla 15**).

4.2.2. Costo privado año 2013.

a) Emisiones y costos

Se observa datos de los costos privados concernientes a emisiones y costos de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca año 2013. Con el uso del programa Excel, se procedió a estimar el modelo econométrico, y se obtuvo el siguiente reporte:

En la tabla 16 se observan datos de los costos privados referentes a emisiones y costos de la contaminación del aire de la ciudad de Cajamarca en el año 2013.

Tabla 15. Emisiones y costos de la contaminación del aire.

Meses	Emisiones ug/m ³ (E)	%	Costos (C)	%
Marzo	248,00	4,27	120,00	1,10
Abril	155,00	2,67	66,00	0,61
Mayo	843,00	14,53	1 500,00	13,75
Junio	921,00	15,88	3 500,00	32,09
Julio	911,00	15,71	1 488,24	13,65
Agosto	502,00	8,66	1 000,00	9,17
Septiembre	366,00	6,31	280,00	2,56
Octubre	531,00	9,15	2 200,00	20,17
Noviembre	343,00	5,96	500,00	4,61
Diciembre	308,00	16,86	250,00	2,29
Total	5 128,00	100,00	10 904,24	100,00

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2013

$$E_i = 285,03 + 0,21C$$

$$(3,60) (4,00) (79,19) (0,052256)$$

Las emisiones durante 2013, dentro de una relación directa, son explicadas por los costos en un 66,6%. Del modelo se deduce que por cada S/.1.00 invertido, las emisiones aumentan en 0,21 µg/m³, lo cual implica que debe mejorarse la política de mitigación de emisiones; pues lo lógico debería ser a la inversa.

Al respecto en la Tabla 16, el coeficiente de las emisiones observa, mediante el efecto diferenciado de la ecuación del costo social (β_0, β_1), que el promedio ha influido para que las emisiones se reduzcan en porcentajes; sin embargo, siguen manteniendo promedios altos.

Tabla 16. Prueba de significancia para ecuación y los parámetros estimados de emisiones y costos

Regresores	Coefficientes	Estadístico t	Desviación típica	R	R ²	R ²	F
$\beta_0=$	285,03	3,60	79,19	0,816	0,666	0,625	15,98
$\beta_1=Emisiones$	0,21	4,00	0,052256				

R ² =	0,666	$\bar{R}^2 =$	0,625
t $\beta_0 =$	3,60	t $\beta_1 =$	4,00
$\sigma \beta_0 =$	79,19	$\sigma \beta_1 =$	0,052256
F =	15,98		

R²: Suma de cuadrados de regresores entre la suma de cuadrados de errores.

F: se usa para el análisis de la varianza.

t β_0 : son resultados de la prueba de T- student para el estimador y también se conoce como t calculado(β_0)

t β_1 : son resultados de la prueba de T- student para el estimador y también se conoce como t calculado (β_1)

$\sigma \beta_0 =$ Desviación típica o estándar del estimador β_0

$\sigma \beta_1 =$ Desviación típica o estándar del estimador β_1

Prueba de Hipótesis:

Prueba de hipótesis t student:

H₀: $\alpha_0, \alpha_1 = 0$.

H_a: $\alpha_0, \alpha_1 \neq 0$.

A continuación se tiene el valor teórico de la prueba T Student, para lo cual se considera un nivel de confianza del 95% y 8 grados de libertad ($n-2: 10-2 = 8$). Se utilizó para obtener los datos estadísticos de la tabla; para cuyo caso se recurrió a la prueba de T-student, donde se tiene: $t_t: \pm 2,3060$.

Al verificar los valores críticos de los regresores se tiene que estos son mayores al t_t , por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Prueba de hipótesis F:

$$\mathbf{H_0: \alpha_0 = \alpha_1}$$

$$\mathbf{H_a: \alpha_0 \neq \alpha_1}$$

En lo que se refiere al análisis de varianza, se tiene la prueba F; para ello, consideramos el valor teórico, de 5,32 ($k-1: 2-1=1$; $n-k: 10-2=8$), donde k significa el número de estimadores y el valor calculado de la prueba F es 15,98. Este es mayor que el valor teórico; por tanto, se rechaza la hipótesis nula. Finalmente, se tendría que los estimadores son diferentes entre sí.

Se ha invertido S/. 10 904,24 con la finalidad de controlar la contaminación del aire; puesto que, durante los meses de marzo a julio arroja las emisiones de $53,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un 61,20% de inversión. Se tendrá relación con los costos de contaminación. Durante los meses de agosto a diciembre se tendrá una reducción de $46,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de emisiones; luego se reducirá a 38,80% de costos. Entonces, se puede decir al respecto que el costo privado de los meses de marzo a diciembre ha reducido a S/. 6,12% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entonces, el costo privado correspondiente al año 2013 debería aumentar a 22,40%, para que la contaminación se haya visto reducida en $6,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Tabla16**).

Los monitores del monóxido de carbono (**CO**), por promedio móvil de una hora, se especifican con la data agenciada de 2012 y 2013. En 2º12, el promedio móvil fue de 4 036,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; si se comparan los resultados con el promedio móvil de 2013, es 3 632,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación estuvo ubicada en La Colmena Baja, local de la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Se concluye que en 2012 se tuvo un alto nivel de concentración de monóxido de carbono (CO) por promedio móvil, comparado con el que se dio en 2013; pero todavía no se alcanzó el nivel establecido por el estándar de calidad ambiental del aire. (**Tabla 8 y 12**).

El comportamiento del dióxido de azufre (**SO₂**) en el período de monitoreo de la calidad del aire si estuvo por encima de la norma establecida en el D.S.Nº 074-2001-PCM y OMS, de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anual, con valores máximos de 2012 y 2013, que arrojó 166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De esta manera, podemos determinar que la concentración fue alta con respecto a los ECA; lo que indica que presenta altos riesgos de contaminación para la salud humana (**Tabla 8 y 12**).

El comportamiento del dióxido de nitrógeno (**NO₂**) no presentó grandes variaciones durante 2012 y 2013; durante los dos años fue de 74,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; durante los períodos de estudio no superó el valor de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anual; donde podemos observar que la concentración fue bastante baja con relación a la norma del estándar de calidad ambiental del aire (ECA); pero existe, lamentablemente, son nuestras leyes. No tenemos referencias para comparar si los valores son o no nocivos para la salud de las personas, tal como lo establecen estos parámetros, el D.S.Nº 074-2001-PCM y la Organización Mundial de Salud -OMS (**Tabla 8 y 12**).

Las partículas **PM₁₀**, en el período de monitoreo de calidad del aire, no están por encima de la normas establecidas, D.S.N° 074-2001-PCM, el Estándar de Calidad Ambiental del Aire (ECA) y la Organización Mundial de Salud (OMS), y con un período de 150µg/m³ en 24 horas, con valores máximos anuales de 2012 y 2013, fue de 818,92 µg/m³ y 1 406,00 µg/m³, en relación con las consultas médicas que arrojan 20 671 y 20 105 casos por enfermedades a las vías respiratorias y otras. Los resultados afirman que los valores anuales obtenidos superan el estándar de calidad ambiental del aire (ECA) en los respectivos años; luego, los valores obtenidos mes a mes son relativamente bajos con respecto a los ECAS; lo que indica que sí hay presencia de partículas menores a 10µg/m³; pero estas no presentan altos riesgos para la salud por su baja concentración en la atmósfera cajamarquina (**Tabla 8 y12**).

El comportamiento de las partículas **PM_{2,5}**, tal como podemos apreciar los valores obtenidos en 2013, no sobrepasan el ECA; lo que indica que la población cajamarquina no está expuesta a la contaminación con estas partículas, ya que son las más peligrosas, puesto que atacan al sistema respiratorio y aumentan la vulnerabilidad de la población a contraer enfermedades respiratorias. Sin embargo, en 2012, se puede observar que la mayoría de los valores sobrepasan los ECA, y otros valores en el período de monitoreo de la calidad del aire sí están por encima de la norma establecida por el D.S.N° 074-2001-PCM y OMS; es decir, de 80µg/m³ anual, valores máximos en 2012 y 2013, lo que arroja 564,04 µg/m³ y 557 µg/m³. Entonces, los valores obtenidos sometidos, una vez comparados, podemos determinar que la concentración fue alta en lo que respecta a los ECA; ello indica que sí presenta altos riesgos de contaminación para la salud humana (**Tabla 8 y 9**).

El parque automotor de la ciudad de Cajamarca es cada vez más creciente, aunque la mayor parte de unidades móviles son nuevas. Esta sería la razón por la que los valores encontrados no superan los límites establecidos por los estándares nacionales de calidad ambiental para el aire (ECA). El parque automotor que conforma las fuentes móviles contamina el aire. Según los resultados, la Organización Mundial de la Salud confirma, en cierta medida, que el 70% de contaminación de monóxido de carbono se debe a fuentes móviles emitido por los tubos de escape de los vehículos (OMS 1997).

Las características y niveles de la contaminación del aire son producidas directamente por el hombre, se originan directamente a causa por la combustión de carburantes. En esta combustión se emiten gases, como monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas, en general. Todos los motores de combustión emiten contaminación hacia el aire.

La combustión empleada para obtener calor y generar energía eléctrica es el proceso de emisión de contaminantes. Existen otras actividades, como la fundición y la producción de sustancias químicas que provocan el deterioro de la calidad del aire; estas se caracterizan por ser contaminantes primarios porque permanecen en la atmósfera, y los secundarios están sujetos a cambios químicos. Según el medio ambiente, se caracterizan estos contaminantes porque son partículas suspendidas en el polvo, el hollín, el humo, etc.

Otras **características** están dadas por la concentración de los contaminantes atmosféricos. Se expresan en tres tipos de unidades de contaminantes gaseosos (PPm): partes por billón (PP^b), miligramos por metro cúbico, y material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Collazos, 2008).

Tabla 17. Características de los contaminantes.

Gas	Procedencia (PM₁₀)	Efectos (PM_{2,5})
Dióxido de azufre	Combustión de petróleo	Afecciones respiratoria.
Monóxido carbono	Combustiones	Muy Tóxico
Dióxido de carbono	Industrias	Efecto Invernadero
Óxido de nitrógeno	Carburantes automóviles	Lluvia ácida
Partículas sólidas	Canteras, humos	Enfermedades pulmonares

Fuente: Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)

El impacto de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca se realizó en la Dirección Regional de Salud de Cajamarca (DIRESA). Se observaron las consultas médicas de diferentes tipos de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otras relacionadas en forma directa con las emisiones de la contaminación del aire, en particular, con la concentración del monóxido de carbono, material particulado, dióxido de azufre y nitrógeno emitidos por fuentes móviles y fijas.

El gasto en consultas médicas tiene un gran impacto negativo en los ingresos, ya que existe una demanda adicional en gastos privados que realiza la Municipalidad Provincial de Cajamarca; están relacionados con la adquisición, instalación y mantenimiento de los equipos de medición.

Por otra parte, se observa que el efecto invernadero, que trata de la cantidad de dióxido de carbono, se debe al consumo de combustible fósil, petróleo y gas natural, también se genera dióxido de nitrógeno al quemar carbón, elemento que va a parar a la atmósfera arrastrado por los vientos. Los efectos a la salud son ocasionados por las fuentes principales de la contaminación del aire, cuyo valores son fijados por las normas de la Organización Ambiental de Salud (**OMS y D.S.Nº 074-2001-PCM**).

Por los resultados expuestos podemos afirmar que este trabajo confirma la teoría “Cambios en el Excedente del Consumidor” (Andrade). Esta afirma que la actividad

económica de algunos agentes afecta a otros en forma de externalidades negativas o positivas, y que la forma de determinar las magnitudes del efecto causado se consigue aplicando la “*función-daño*”, cuya expresión matemática en forma general es: $Y = a + b$ (y). Esta fórmula se ha aplicado en este trabajo bajo diferentes ecuaciones en relación con las emisiones y partículas.

De igual manera, según los resultados expuestos en el párrafo siguiente, se confirma la hipótesis: “Los costos sociales y costos privados de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca varían en relación con el tipo de contaminante y tamaño de partícula”.

Asimismo, para 2012, se establece que por cada incremento de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de contaminación en la ciudad de Cajamarca, las consultas médicas se incrementarán en 6,36 veces; mientras que para 2013, por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se eleve, las consultas se incrementaran en 8,03 veces.

De otro lado, podemos afirmar que para 2012, si se incrementa en una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, PM₁₀ y SO₂, se tendría un incremento de consultas médicas en 8,13; 1,41 y 88,94, respectivamente. De igual forma, la subida de una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} y NO₂, ocasionará una reducción de 19,03 y 116,08 en las consultas médicas.

Finalmente, se puede afirmar que si se incrementa en una unidad de mg/m^3 de CO y PM₁₀ dará lugar a un incremento de las consultas médicas en 8,57 y 2,93, respectivamente. Sin embargo, ante la subida de una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO₂ PM_{2.5} y NO₂, originará una reducción en las consultas médicas de 0,51, 315,54 y 66,48, respectivamente.

Existen trabajos internacionales similares al trabajo realizado, por ejemplo:

Gaviria, 2011, afirma: “Similarmente, los resultados encontrados muestran que la incidencia de PM_{10} es superior a $PM_{2,5}$, aunque en estudios elaborados por la OMS se establece que este último tiende a tener un efecto superior en la salud humana. Sin embargo, este primer acercamiento estadístico para Medellín muestra cómo el número de consultas por enfermedades respiratorias están relacionado con el grado de contaminación del aire en la ciudad”. Entre el 0,05% y 0,49% durante todo el período de análisis.”

Barrios, 2004, manifiesta: “En cuanto a efectos de la contaminación atmosférica en el número de patologías de IRA, se ha observado a nivel internacional que existen asociaciones en cuanto a los efectos en los niños. En una variedad de estudios epidemiológicos se ha procurado evaluar asociaciones potenciales en las exposiciones al ambiente con material particulado y las enfermedades. Una revisión de estos indica una relación directa de efectos entre el número de atenciones de salud (incluyendo mortalidad) con la exposición prolongada a PM_{10} . Los estudios pulmonares agudos sugieren un efecto a corto plazo con disminuciones del flujo máximo del rango de 30 a 40 ml/sec, con un aumento de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} hechos en un promedio de 24 horas.”

En este estudio, que es el primero que se asocia la contaminación atmosférica con los efectos en la salud en Temuco, se observan asociaciones significativas que permiten afirmar que en Amanecer la contaminación atmosférica por PM_{10} genera un aumento en el número de atenciones de IRA en menores de 5 años en el SBO, mientras que en Santa Rosa la incidencia está concentrada en las patologías de neumonía, bronconeumonía y otras. “Las diferencias pueden estar basadas en la distinta condición social, económica y de ocupación de dichos espacios urbanos.”

Cerda, 2008, expresa: “El análisis de las consultas evitadas requirió tener los datos del número de consultas por enfermedades respiratorias en el sistema público de salud del sector de estudio. A dichas consultas se les aplicó la elasticidad promedio con respecto al PM₁₀, calculada con base a las elasticidades de largo plazo. A partir de esto se obtuvo que con una reducción de 66,60% en las concentraciones de PM₁₀ se reducirían las CM en 69,10% ($1,0375 \times 0,6669 \times 100$), equivalente a una disminución de 4,157 en las consultas.

El costo directo considerado es el valor de la consulta médica. Con datos de las principales enfermedades respiratorias del Departamento de Salud de Talca se calculó el costo promedio de consulta por enfermedad respiratoria en \$ 27 750,00. El costo indirecto promedio consideró la información referente a los días de reposo promedio por patologías respiratorias y los niveles etarios de los afectados, estimándose un valor de \$ 4 421,00.

En el Perú también se han realizado estudios, como las expuestas líneas abajo, pero relacionados a los efectos de la contaminación por partículas y su efecto en las enfermedades respiratorias en la ciudad de Lima, enfocado desde el punto de vista macroeconómico:

Orihuela, 2013, enfoca el problema desde un punto de vista macroeconómico. Manifiesta: “Los resultados sugieren que los costos de la contaminación ambiental en el aire (CCA) 16 por PM₁₀ en Lima Metropolitana han representado una fracción mínima del Producto Bruto Interno del Departamento de Lima (PBIL), esta fracción osciló entre el 0,05% y 0,49% durante todo el período de análisis. La tendencia creciente del CCA durante el período 1994-2006 osciló entre US\$ 19 166 000,00.”

Este incremento se atribuye a que en dichos años los niveles de contaminación por PM10 excedieron significativamente el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el aire (ECA18 = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Si bien es cierto, los estudios mencionados anteriormente son diferentes en resultado de nuestro trabajo, debido a que fueron realizados en otro período de tiempo y espacio, la metodología de la regresión y el uso de correlación utilizados son similares al que hemos realizado, lo cual otorga fiabilidad y validez al presente estudio. La metodología que hemos empleado se puede utilizar en estudios similares, para ciudades de la sierra del Perú, con las mismas características que la de Cajamarca, ubicadas en valles interandinos y que presenten actividades económicas similares a las de Cajamarca como la minería.

Este trabajo abre la posibilidad de realizar otros estudios relacionados con la contaminación y su efecto en el costo ambiental, por tipo de enfermedades respiratorias (IRAS) y sus efectos en los diferentes estratos sociales o por edades de la población. Asimismo, debe llamar la atención de las autoridades para mejorar las políticas de corrección, como aumentar el gasto tanto del gobierno central como del regional y municipal para disminuir la polución en nuestra ciudad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Una de las características son las mediciones realizadas en las emisiones de gases vehicular del parque automotor en circulación en Cajamarca el 15% corresponde al año 1990; sin embargo todavía se encuentran vehículos de los años 60 en circulación que consumen gasolina, sobrepasando los $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de emisiones, pero no superan el estándar de calidad ambiental del aire.
2. El impacto son generados por la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca fue bajo los costos sociales debido a las concentraciones de los contaminantes primarios no superan a los estándares de calidad del aire, entonces el gasto en consultas médicas es consecuencia a las enfermedades y vías respiratorias entonces el impacto es negativo.
3. Se estimaron los costos externos, sociales y privados de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca. El gasto en consultas médicas tuvo un gran impacto negativo en los ingresos; fue de S/. 20 671, ya que existió una demanda adicional en gastos privados de S/. 10 676,27; ante la subida de las consultas médicas, se obtuvo una reducción de gastos privados.
4. Del modelo econométrico se dedujo que si se incrementaba en una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, PM₁₀ y SO₂, se obtendría un incremento en las consultas médicas en 8,13; 1,41 y 88,94, respectivamente. Sin embargo, ante la subida de una unidad de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} y NO₂, se obtendría una reducción en las consultas médicas de 19,03 y 116,08, respectivamente.

5. El costo privado de la contaminación ambiental del aire, para 2012, se tiene la relación entre emisiones y costos, del cual se evidencia que por cada S/.1.00 invertido, las emisiones tienden a incrementarse en $0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el año 2013 se tiene que por cada S/.1.00 invertido, las emisiones aumentan en $0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, observándose una **reducción** de emisiones en 12,5%.

5.2. Recomendaciones.

1. La investigación debe ser considerada por parte de las autoridades de los diversos niveles de gobierno, para generar y dotar de políticas públicas, como por ejemplo: una ordenanza Municipal que permita regular el pago de impuestos por parte de los propietarios de unidades móviles, en relación con las emisiones que ocasionen las unidades.
2. El presente trabajo debe ser socializado con las autoridades de los gobiernos regional y local; pero, a su vez, las Dirección Regional de Salud y la Dirección regional de Educación deben conocer la importancia que reviste tener una educación adecuada referida al cuidado y preservación del medio ambiente. La Municipalidad Provincial de Cajamarca debe implementar un sistema de control de revisiones técnicas obligatorias permanentes, destinadas al control de emisiones de transporte público, vehículos pesados y la calidad del combustible (diesel).
3. El Gobierno Regional y el Gobierno Municipal deben asignar un mayor presupuesto para recursos humanos y financieros en la determinación de los niveles de concentración de la calidad ambiental en la ciudad de Cajamarca; ya que con los valores obtenidos se pueden tomar importantes decisiones para mejorar la calidad de vida de la población.

5.3. Propuesta de un Modelo para estimar los Costos de la Contaminación del aire en la Ciudad de Cajamarca

El presente modelo debe ser diseñado para observar la relación que existe entre la variable dependiente y las variables independientes seleccionadas, para explicar el problema de la contaminación ambiental del aire. El modelo debe constar de dos ecuaciones de comportamiento:

La primera ecuación debe obtener una dependencia sobre inventario de emisiones con relación a los costos totales, destinados a las empresas que requieren servicios de adquisición de aparatos o equipos para controlar las emisiones de gases sólidos y líquidos en el aire.

La segunda ecuación se busca observar de qué manera influye para reducir el inventario de emisiones con relación a las fuentes fijas y al número de consultas médicas en la cuenca atmosférica de Cajamarca.

Asimismo, revisar las historias clínicas de los pacientes atendidas en los hospitales y policlínicos elaboradas por todo tipo de enfermedades. Por ello, es necesaria una participación más intensa del gobierno local para evitar que la remediación de la contaminación del ambiente sea más onerosa. La sociedad cajamarquina, en su conjunto, debe observar y acatar las leyes y normas dictadas y promulgadas tanto por el gobierno nacional, como por el regional y el local, y sus organismos de apoyo, a fin de que este último, implemente una ordenanza municipal que establezca impuestos municipales a las fuentes de área contaminantes, y, asimismo, para que los ingresos directamente recaudados sean destinados a la preservación y conservación de los recursos naturales y la propia salud de la población humana.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO ECONOMETRICO

El modelo econométrico está relacionado con dos ecuaciones con la finalidad de observar

La primera ecuación:

Existe entre el número de contaminantes (E) y el costo total (C) y la variable dicotómica (L), más el termino de perturbaciones aleatorias (u) es:

Dónde:

$$E=f(C,L)+u$$

La variable dependiente o endógena se identifica como (E)

Las variables independientes son exógenas (C) y (L) lo que significa que los cambios en las variables (C) y (L), modifican el valor de la variable (E), se obtendrá la reducción de emisiones en la atmosfera.

La segunda ecuación:

Es utilizada para conocer en qué medida los inventarios de emisiones de fuentes fijas (E) y la variable dicotómica (L) se relaciona con (Y) ; daños en la salud de la población en la zona de estudios relacionado a enfermedades:

Dónde:

$$Y=f(E,L)+u$$

La variable dependiente o endógena se identifica como (Y)

Las variables independientes son exógenas, se identifican con (C) y (L).

La variable aleatoria es (u) , entonces existe cambios en E y L , modifican los valores de Y en el sentido del incremento de toda clase de enfermedades al elevarse los inventarios de enfermedades a la atmosfera y observar las normas ambientales de la calidad del aire en la ciudad de Cajamarca.

LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andia W, 2006, 291** Manual de gestión ambiental
- Barrios S, 2004, 6.** Efectos de la Contaminación Atmosférica por Material Particulado en las Enfermedades Respiratorias Agudas en Menores de 5 Años, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
- CEDE, 2015,4.** Disponibilidad a pagar por daños a la salud debido a la Contaminación Atmosférica, Universidad de los Andes-Colombia
- Cerda A, 2008, 6.** Contaminación del aire en la Florida (Talca, Chile): Beneficios económicos en salud por la reducción de los niveles PM₁₀, Universidad de Talca, Chile.
- Cifuentes L, 2004, 6.** Valoración económica y Ambiental aplicada a Casos del Manejo de la Calidad del Aire y Control de la Contaminación, BID, México.
- Collazos Cerrón, Jesús. 2008 -83.** Manual de Evaluación Ambiental de Proyectos Editorial San Marcos E.I.R.L. Editor- Primera Edición: 2003, Segunda Edición: 2009.
- Crespo Cristina, 1996.-12.** Racionalización de los costos medioambientales, Revista Contabilidad Auditoría e Impuesto N° Santiago de Chile.
- Decreto Supremo N° 074-2001-PCM.** Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire-ECA.
- Dirección General de Salud Ambiental. 2012 - DIGESA.** Fuentes de Contaminación – Cajamarca 2012.
- Galle, E. Rubén 2002,12.** Los Residuos Industriales y el Medio Ambiente – Trabajo presentado al XXV Congreso Argentino de profesores Universitarios de Costos – Buenos Aires 2003 - Costos internos y externos de la contaminación.
- Galle, E. Rubén 2002,14.** Los Residuos Industriales y el Medio Ambiente – Trabajo presentado al XXV Congreso Argentino de profesores Universitarios de Costos – Buenos Aires 2002 - Costos internos y externos de la contaminación.
- García R, 2006, 16.** Análisis del incremento de la emisión de gases y humos particulado por vehículos de automotores de transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Cajamarca – Tesis Mg Sc. UNC.
- Gaviria C, 2011, 26.** Contaminación por Material Particulado (PM_{2,5} y PM₁₀) y Consultas por Enfermedades Respiratorias en Medellín (2008-2009), Revista Nacional de Salud Pública, Medellín.
- Gómez Orea, Domingo 2003-122.** Impacto de las emisiones de gases y otros productos desde chimeneas de fundiciones de minerales sobre las actividades agropecuarias ambiente y desarrollo. Santiago de Chile.

- Gómez Orea, Domingo. 1999-35.** Evaluación del impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Segunda edición y ampliada, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-España.
- Gómez Orea, Domingo. 2003-52.** Evaluación del impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Segunda edición y ampliada, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-España.
- Gonzales S & Bergovisst, E, 1986, 122.** El impacto de las chimeneas de gases y otros productos desde chimeneas de fundiciones de minerales sobre las actividades agropecuarias, ambientales y desarrollo. Santiago de Chile.s.n.t.
<https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion>.
- Inche J. L 2008-69.** Gestión de la calidad del aire, causas efectos y soluciones 2002-2008. UNMSM- Oficina General del Sistema de Biblioteca Central Lima- Perú.
Inspiración, 2016. Qué es la contaminación, en línea, disponible en
- León T; Jardeh A.2001, 16.** American Collage of Ocupacional and Environmental Medicine. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Mage, David 1992,35.** División de salud ambiental
- Maltoni y scarnato 1977, 225.** “En la unidad experimental Bentivoglio del instituto de oncología de Bolonia, Italia.
- Manual de uso Hi Vol P-M10-2012.** Thermo Electron. Marca Thermo Scientific Serie P5679. Modelo N° G10557 PM 10-1. Estados Unidos.
- Matos Barrionuevo Isaac H. 2008, 58.** Valoración económica de la calidad del aire y sus impactos en la salud- La Oroya. Tesis Doctor. UNFV.
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Dirección General de Medio Ambiente (DGMA).2001-18** “Propuesta de límites máximos permisibles para vehículos automotores. Lima.
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Dirección General de Medio Ambiente (DGMA).2008-37.** Grupo Técnico Local de Gestión de Calidad del Aire.
- Municipalidad Provincial de Cajamarca 2008.** Sub Gerencia de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2011. Avances de la calidad del aire en la ciudad de Cajamarca. Cajamarca.
- Muñoz y Moller. 2004-19.** Valoración económica de los daños en la salud humana, causados por la contaminación del aire como consecuencia del transporte motorizado en Santiago de Cali. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).1997.** Efectos de los contaminantes en el aire. Consultado 08 oct.2010.

- Organización Mundial de la Salud (OMS).2005.** Principales emisiones antropogénicas. Consultado 8 de octubre del 2010.
- Orihuela, 2013,54.** El costo económico de la contaminación del aire por PM_{10} en Lima Metropolitana: un análisis exploratorio”, UNALM, Lima.
- Perú Ecológico 2016,60.** Contaminación del aire en Perú.
- Pigou C y Arthur. 1920- 123.** The economics of welfare. McMillan Londres.
- Reyes N, Rosa Alvarado R, Castellanos T. 1986-15.** Costos de la contaminación atmosférica, de difusión científica U. de G. México. Investigación del Departamento de Economía División de Economía y Sociedad CUCEA UDG.
- Romero M, 2016, 19.** La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud, en línea, disponible en http://www.bvs.sld.cu/revistas/hie/vol44_2_06.
- Salusso Marco, 2009-23.** Regulación ambiental de bosques nativos.
- Senati -2006.** Situación revista panorama cajamarquino.
- Tucker, Irvin 2005,12.** Fundamentos de Economía. Thomson-Learning, México.
- Tyler, Miller. 1994, 730.** Ecología y medio ambiente - costos internos y externos Introducción a la ciencia Ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta tierra – Grupo Editorial Iberoamérica Costos internos y externos.
- Van S, 1999 ,40.** Manual de Economía Ecológica. ILDIS, Santiago de Chile.
- Zali Olivier, Mage, David.1992-27.** Contaminación atmosférica causada por vehículos automotores. División de Salud Ambiental; Organización Mundial de la Salud –OMS. Servicio de Eco toxicología Republica y cantón de Ginebra, Suiza.

ANEXOS

ANEXO N° 1

HOJA DE DATOS DE CAMPO DEL MUESTREADOR HI VOL PM -10

Nombre de la Estación : E. ST.

Modelo del Equipo : GUV-15H-1-60

Serie VFC(Venturi)	P 5679 PM 10 - 1
-----------------------	------------------

Código del Filtro :
.....

Código del circular Chart:
.....

Fecha del muestreo :/...../.....

Fecha de instalación :/...../..... Fecha de Retiro:
...../...../.....

Tiempo de Muestreo :Horas

Presión inicial (in/H ₂ O):	Presión final (in/H ₂ O):
Hora de inicio del monitoreo	Hora de termino del muestreo
Horometro inicial:	Horometro final

Humedad Relativa:%

Temperatura : °C

Presión Actual (Pa) :(mm Hg)

Observaciones:
.....

Responsable del monitoreo:

Nombres y Apellidos

Firma

ANEXO N° 2

ENVIROLAB PERU S.A.C

Enviromental Laboratorio Perú S.A.C

INFORME DE ENSAYO N° 1206430

Solicitante: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA.

Domicilio Legal: Av. Alameda de los Incas N° 253 Qhapac Ñan

Tipo de Muestra: Cajamarca

Plan de Muestreo: Aire

Solicitud de Análisis: JUN-430

Procedencia de la Muestra: Local Colmena – MPC-Cajamarca.

Fecha de Ingreso: 2012-06-22

Código ENIROLAB PERU: 1206430

Referencia: Orden de Servicio N° 1124,3465 del 2010.

RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE	
Código del Laboratorio:	120430-04
Descripción de la muestra	I: LC
Fecha de Muestreo:	2012-12-01
Análisis Método Lim cuantif Unid Fecha de Análisis	Resultado
PM _{2,5} - Alto Volumen EPA IQ-2,1 0,0001 g/muestra 2012-06-09 (HI-VOL)	0,04430

N,D. “ Significa No Detectable al nivel de cuantificación indicado.

Condición y Estado de la Muestra Ensayada: La muestra llego en filtro de cuarzo al laboratorio

Nota: Resultado expresado por muestra.

P PM_{2,5} g(Hi Vol): EPA IQ-2,1”Samplin of Ambient Air for total suspend particulate matter PM₁₀.

ERIQUE QUEVEDO BACIGALUPO

Jefe de Laboratorio

ANEXO N° 3

El equipo muestreador de alto volumen (PM-10 y PM- 2,5) harán ensayos, y se observan en las hojas de control.

PM-10 (HIGH-VOL): EPA IO-2.1

Análisis:PM10		Método de Referencia: EPA IQ-2.1		
Fecha de Muestreo	Límite de Cuantificación	Resultado ug/m ³	Fecha	de Análisis

PM-2.5 (HIGH-VOL): EPA IO-2.1

ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE

Análisis: PM-2.5		Método de referencia: EPA 40 CFR		
Fecha de Muestra	Límite de Cuantificación	Resultado ug /m ³	Fecha de Análisis	

ANEXO 4

Muestra el material de muestreo y equipo.

Descripción	Emisiones (mg/m ³)		Costos	
	2012	2013	2012	2013
COSTO ADQUISICIÓN				
Maquinaria y equipo (Co)	4036	3632	43	4000
Filtros Vol 8x10 (PM ₁₀)	818,92	736	2175,00	120
Motor (PM ₁₀)		24	545	783
Porta Filtros Vol 8x2 (PM _{2.5})	564,04	557	2534	783
Método exeviro Lab. NO ₂	74,80	60	94,40	744,12
Método EPA 40 CFR (SO ₂)	166,00	119	419	744,12
Método EPA 40 CFR (PM _{2.5})				
COSTO INSTALACIÓN				
Celebración de equipo Muestreador alto volumen PM ₁₀			120,00	1400
Serv. Diversos (envío informes, facturas, muestras y materiales)			4745,87	2330
TOTAL	5659,76	5128,00	10 676,37	10 904,24

Fuente: Elaboración propia

EQUIPOS PARA MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE



Estación meteorológica Automática
(FMA)



Analizador de monóxido de
carbono (CO)



Muestreador de Gases



Muestreador de Material Particulado
(Hi Vol)
PM-10 y PM-2.5

ANEXO 5

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE MONÓXIDO DE CARBONO

Fecha de Muestreo	Resultados de las muestras ug/m ³			
	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo	ECA
Marzo	91,00	31,91	28,20	30 000
Abril	54,00	20,57	14,95	30 000
Mayo	796,00	65,23	30,57	30 000
Junio	895,00	59,85	33,74	30 000
Julio	886,00	68,55	47,74	30 000
Agosto	341,00	50,57	45,71	30 000
Septiembre	265,00	59,20	45,95	30 000
Octubre	256,00	55,01	46,95	30 000
Noviembre	227,00	58,91	54,29	30 000
Diciembre	225,00	57,79	56,30	30 000
Total	4 036,00	527,59	404,40	30 000

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC ,año 2012

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE MONÓXIDO DE CARBONO.

Fecha de Muestreo	Resultados de las muestras ug/m ³			
	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo	ECA
Marzo	85,00	20,87	10,99	30 000
Abril	52,00	18,90	15,44	30 000
Mayo	692,00	49,54	39,05	30 000
Junio	780,00	64,13	32,90	30 000
Julio	810,00	78,49	69,57	30 000
Agosto	320,00	81,60	78,11	30 000
Septiembre	212,00	71,55	69,55	30 000
Octubre	368,00	75,79	71,84	30 000
Noviembre	211,00	71,10	69,78	30 000
Diciembre	102,00	51,32	50,68	30 000
Total	3 632,00	583,29	507,91	30 000

Fuente: Niveles de concentraciones de monóxido de carbono (CO) año 2013

ANEXO 6

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO 2)

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
14/03/2012	24horas	1206430-06	3,60	80	22/06/2012
22/03/2012	24horas	1206430-08	3,60	80	22/06/2012
30/03/2012	24horas	1206430-10	3,60	80	22/06/2012
16/04/2012	24horas	1206430-11	3,60	80	22/06/2012
24/04/2012	24horas	1206430-13	3,60	80	22/06/2012
10/05/2012	24horas	1206430-15	9,40	80	22/06/2012
18/05/2012	24horas	1206430-17	9,40	80	22/06/2012
26/05/2012	24horas	1206430-19	9,40	80	22/06/2012
03/06/2012	24horas	1206430-21	16,40	80	22/06/2012
11/06/2012	24horas	1206430-22	16,40	80	22/06/2012
Total			79,00	80	22/06/2012

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO 2)

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
05/07/2012	24horas	1206430-06	10,00	80	08/01/2013
13/07/2012	24horas	1206430-08	10,00	80	08/01/2013
21/07/2012	24horas	1206430-10	10,00	80	08/01/2013
06/08/2012	24horas	1206430-11	8,00	80	08/01/2013
14/08/2012	24horas	1206430-13	8,00	80	08/01/2013
07/09/2012	24horas	1206430-15	11,00	80	08/01/2013
01/10/2012	24horas	1206430-17	12,00	80	08/01/2013
02/11/2012	24horas	1206430-19	12,00	80	08/01/2013
04/12/2012	24horas	1206430-21	6,00	80	08/01/2013
Total			87,00	80	08/01/2013

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO 2)

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
01/03/2013	24horas	1309323-09	13,00	80	19/09/2013
16/04/2013	24horas	1309323-10	13,00	80	19/09/2013
24/05/2013	24horas	1309323-11	13,00	80	19/09/2013
26/06/2013	24horas	1309323-12	13,00	80	19/09/2013
14/07/2013	24horas	1309323-13	13,00	80	19/09/2013
05/08/2013	24horas	1309323-14	13,00	80	19/09/2013
27/09/2013	24horas	130718-08	13,00	80	31/10/2013
19/10/2013	24horas	130718-09	13,00	80	31/10/2013
03/11/2013	24horas	130718-10	13,00	80	31/10/2013
17/11/2013	24horas	130718-05	13,00	80	19/12/2013
03/12/2013	24horas	130718-07	13,00	80	19/12/2013
Total			87,00		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2013.

ANEXO 7

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE NTRÓGENO

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
14/03/2013	1hora	1206430-05	3,60	200	22/06/2012
22/04/2013	1hora	1206430-07	1,20	200	22/06/2012
30/05/2013	1hora	1206430-09	3,20	200	22/06/2012
24/05/2013	1hora	1206430-12	3,20	200	22/06/2012
09/06/2013	1hora	1206430-14	3,60	200	22/06/2012
17/07/2013	1hora	1309323-16	4,00	200	22/06/2012
25/07/2013	1hora	1206430-18	4,00	200	22/06/2012
02/07/2013	1hora	1206430-20	4,00	200	22/06/2012
18/07/2013	1hora	1206430-23	4,00	200	22/06/2012
Total			30,80		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
18/08/2012	1hora	1301065-22	4,00	200	08/01/2013
21/08/2012	1hora	1301065-23	4,00	200	08/01/2013
29/08/2012	1hora	1301065-24	4,00	200	08/01/2013
06/09/2012	1hora	1301065-25	4,00	200	08/01/2013
14/09/2012	1hora	1301065-26	4,00	200	08/01/2013
22/09/2012	1hora	1301065-27	4,00	200	08/01/2013
01/10/2012	1hora	1301065-28	4,00	200	08/01/2013
08/10/2012	1hora	1301065-29	4,00	200	08/01/2013
08/10/2012	1hora	1301065-30	4,00	200	08/01/2013
09/11/2012	1hora	1301057-17	4,00	200	08/01/2013
09/12/2012	1hora	1301057-21	4,00	200	08/01/2013
Total			44,00		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
12/03/2013	1hora	1309323-01	4,00	200	12/09/2013
01/04/2013	1hora	1309323-02	4,00	200	12/09/2013
15/05/2013	1hora	1309323-03	4,00	200	12/09/2013
23/05/2013	1hora	1309323-04	4,00	200	12/09/2013
01/06/2013	1hora	1309323-05	4,00	200	12/09/2013
16/07/2013	1hora	1309323-06	4,00	200	12/09/2013
05/07/2013	1hora	1309323-07	4,00	200	12/09/2013
Total			28,00		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2013.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m³)	ECA	Fecha de Análisis
07/08/2013	1hora	1309323-07	4,00	200	12/09/2013
29/08/2013	1hora	1309323-08	4,00	200	12/09/2013
20/09/2013	1hora	130718-06	4,00	200	30/10/2013
06/09/2013	1hora	130718-07	4,00	200	30/10/2013
12/10/2013	1hora	130718-08	4,00	200	30/10/2013
22/10/2013	1hora	130718-09	4,00	200	30/10/2013
03/11/2013	1hora	1312188-04	4,00	200	30/10/2013
25/12/2013	1hora	1312188-06	4,00	200	20/12/2013
Total			32,00		20/12/2013

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2013

ANEXO 8

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE - (PM₁₀)

Fecha de Muestreo	Periodo de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
08/03/2012	24horas	1301065-33	52,00	150	01/01/2013
05/04/2012	24horas	1301065-34	53,00	150	01/01/2013
21/05/2012	24horas	1301065-36	72,00	150	01/01/2013
26/05/2012	24horas	1301065-37	70,00	150	01/01/2013
07/06/2012	24horas	1301065-39	73,92	150	01/01/2013
22/06/2012	24horas	1301065-41	73,00	150	01/01/2013
09/07/2012	24horas	1301065-44	70,00	150	01/01/2013
25/07/2012	24horas	1301065-46	71,00	150	01/01/2013
10/08/2012	24horas	1301057-01	83,00	150	01/01/2013
19/09/2012	24horas	1301057-02	63,00	150	01/01/2013
12/10/2012	24horas	1301057-05	58,00	150	01/01/2013
28/11/2012	24horas	1301057-07	60,00	150	01/01/2013
30/12/2012	24horas	1301057-08	20,00	150	01/01/2013
Total			818,92	150	

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE PM₁₀

Fecha de Muestreo	Período de Muestreo	Código de Muestra	Resultado Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
08/03/2012	24horas	1305213-04	50,00	150	20/05/2013
05/04/2012	24horas	1305213-06	56,00	150	20/05/2013
21/05/2012	24horas	1305213-08	104,00	150	20/05/2013
26/05/2012	24horas	1309323-14	51,00	150	14/09/2013
07/06/2012	24horas	1309323-16	52,00	150	14/09/2013
22/06/2012	24horas	1309323-20	130,00	150	14/09/2013
09/07/2012	24horas	1309323-22	60,00	150	19/11/2013
25/07/2012	24horas	1309323-24	113,00	150	21/11/2013
10/08/2012	24horas	1310718-02	43,00	150	14/12/2013
19/09/2012	24horas	1310718-04	149,00	150	24/12/2013
12/10/2012	24horas	1312188-01	162,00	150	24/12/2013
28/11/2012	24horas	1305213-01	150,00	150	24/12/2013
30/12/2012	24horas	1310718-02	160,00	150	27/12/2013
Total			1406,00	150	

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2013

ANEXO 9

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTREO DE PM2.5

Fecha de Muestreo	Período de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
13/03/2012	24horas	1301057-08	24,04	50	01/01/2013
16/04/2012	24horas	1301065-35	15,00	50	01/01/2013
14/05/2012	24horas	1301065-38	51,00	50	01/01/2013
30/05/2012	24horas	1301065-40	53,00	50	01/01/2013
15/06/2012	24horas	1301065-42	57,00	50	01/01/2013
01/06/2012	24horas	1301065-43	59,00	50	01/01/2013
17/07/2012	24horas	1301065-45	108,00	50	01/01/2013
02/08/2012	24horas	1301065-47	52,00	50	01/01/2013
25/09/2012	24horas	1301057-03	23,00	50	01/01/2013
04/10/2012	24horas	1301057-04	45,00	50	01/01/2013
20/11/2012	24horas	1301057-06	50,00	50	01/01/2013
22/12/2012	24horas	1301057-07	27,00	50	01/01/2013
Total			564,04		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2012.

BASE DE DATOS RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO DE PM2.5

Fecha de Muestreo	Período de Muestreo	Código de Muestra	Resultado de Análisis(ug/m ³)	ECA	Fecha de Análisis
13/03/2012	24horas	1301057-08	47,00	50	10/01/2013
16/04/2012	24horas	1301065-35	49,00	50	10/01/2013
14/05/2012	24horas	1301065-38	30,00	50	20/05/2013
30/05/2012	24horas	1301065-40	26,00	50	20/05/2013
15/06/2012	24horas	1301065-42	37,00	50	20/05/2013
01/06/2012	24horas	1301065-43	36,00	50	20/05/2013
17/07/2012	24horas	1301065-45	28,00	50	14/09/2013
02/08/2012	24horas	1301065-47	31,00	50	14/09/2013
25/09/2012	24horas	1301057-03	37,00	50	14/09/2013
04/10/2012	24horas	1301057-03	29,00	50	14/09/2013
20/11/2012	24horas	1301057-04	28,00	50	04/11/2013
27/11/2012	24horas	1301057-06	31,00	50	04/11/2013
22/12/2012	24horas	1301057-07	37,00	50	04/11/2013
Total			564,04		

Fuente: Estación Colmena Baja-MPC-2013

ANEXO 10

BASE DE CONCENTRACIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO AÑO 2012.

Mes de Marzo - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
01/03/2012	31,91991013	30 000
02/03/2012	30,89311373	30 000
03/03/2012	28,20701273	30 000
Promedio Móvil	91,02003659	30 000

Mes de Abril - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
07/04/2012	20,57552318	30 000
09/04/2012	18, 48952491	30 000
11/04/2012	14,95853613	30 000
Promedio Móvil	54,0035842	30 000

Mes de Mayo - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
10/05/2012	46, 21649619	30 000
11/05/2012	36, 19033611	30 000
12/05/2012	38, 36791274	30 000
13/05/2012	36, 33539977	30 000
14/05/2012	45,57176343	30 000
15/05/2012	44,32927598	30 000
19/05/2012	41,51837617	30 000
20/05/2012	34,87556323	30 000
21/05/2012	65,23855935	30 000
22/05/2012	53,90502819	30 000
23/05/2012	35,44649912	30 000
24/05/2012	66,21648599	30 000
25/05/2012	36,19031361	30 000
26/05/2012	38,36790132	30 000
27/05/2012	46,33531019	30 000
28/05/2012	55,57172353	30 000
29/05/2012	30,57292114	30 000
30/05/2012	44,84892366	30 000
31/05/2012	53,80623847	30 000
Promedio Móvil	796,00217891	30 000

Mes de Junio - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
01/06/2012	47,68116583	30 000
02/06/2012	45,26554089	30 000
03/06/2012	46,12886575	30 000
04/06/2012	47,04946682	30 000
05/06/2012	50,96740731	30 000
06/06/2012	46,97834653	30 000
07/06/2012	51,52119168	30 000
08/06/2012	59,85654654	30 000
09/06/2012	58,71909805	30 000
10/06/2012	47,97243063	30 000
11/06/2012	33,74279304	30 000
12/06/2012	58,55453726	30 000
13/06/2012	42,28635913	30 000
14/06/2012	52,48635512	30 000
15/06/2012	57,71481611	30 000
16/06/2012	49,16800739	30 000
17/06/2012	50,52563267	30 000
18/06/2012	48,48928129	30 000
Promedio Móvil	895,00784204	30 000

Mes de Julio - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
01/07/2012	49,06916583	30 000
02/07/2012	57,46594089	30 000
03/07/2012	49,03646571	30 000
04/07/2012	53,13516682	30 000
05/07/2012	47,74550731	30 000
06/07/2012	49,66614653	30 000
07/07/2012	54,23989168	30 000
08/07/2012	53,32259805	30 000
09/07/2012	53,43953063	30 000
10/07/2012	51,77679304	30 000
11/07/2012	50,112933726	30 000
12/07/2012	48,55465912	30 000
13/07/2012	54,78685512	30 000
14/07/2012	51,40530739	30 000
15/07/2012	68,55253267	30 000
16/07/2012	40, 25097132	30 000
17/07/2012	50,52563267	30 000
Promedio Móvil	886,0079162	30 000

Mes de Agosto - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
10/08/2012	50,35392421	30 000
11/08/2012	47,96841233	30 000
12/08/2012	45,71687554	30 000
13/08/2012	49,76459272	30 000
14/08/2012	42,21571605	30 000
15/08/2012	50,57384487	30 000
16/08/2012	54,40663428	30 000
Promedio Móvil	341,00978136	30 000

Mes de Septiembre - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
27/09/2012	47,69900112	30 000
28/09/2012	55,51068953	30 000
29/09/2012	59,20928171	30 000
30/09/2012	56, 65148026	30 000
31/09/2012	45,92954738	30 000
Promedio Móvil	265,00650912	30 000

Mes de Octubre - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
24/10/2012	46,95201802	30 000
25/10/2012	47,69900112	30 000
28/10/2012	55,01068953	30 000
29/10/2012	54,20928171	30 000
30/10/2012	52,15148026	30 000
Promedio Móvil	256,01348072	30 000

Mes de Noviembre - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
26/11/2012	57,01201802	30 000
27/11/2012	56,79900112	30 000
29/11/2012	58,91068953	30 000
30/11/2012	54,29928171	30 000
Promedio Móvil	227,02099038	30 000

Mes de Diciembre - 2012

Fecha de muestreo	Contaminante (CO)	ECA
26/12/2012	56,30201802	30 000
27/12/2012	57,79900112	30 000
28/12/2012	56,62068953	30 000
29/12/2012	54,29928171	30 000
Promedio Móvil	225,02099038	30 000

BASE DE CONCENTRACIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) AÑO 2013

Mes: Marzo -2013

Fecha de Muestreo	CO	ECA
16/03/2013	12,91993527	30 000
17/03/2013	10,99319996	30 000
18/03/2013	13,85704459	30 000
19/03/2013	11,51834908	30 000
20/03/2013	14,87555052	30 000
21/03/2013	20,87898882	30 000
Promedio móvil:	85,00306824	30 000

Mes: Abril – 2013

Fecha de muestreo	CO	ECA
11/04/2013	18,90503837	30 000
12/04/2013	15,44644665	30 000
13/04/2013	17,66642196	30 000
Promedio móvil:	52,01790698	30 000

Mes: Mayo – 2013

Fecha de Muestreo	CO	ECA
01/05/2013	45.68436583	30000
02/05/2013	41.04634089	30000
03/05/2013	41.71686574	30000
04/05/2013	47.84546685	30000
05/05/2013	48.18530731	30000
06/05/2013	47.50834653	30000
07/05/2013	48.37189168	30000
09/05/2013	45.87909805	30000
10/05/2013	49.60943063	30000
11/05/2013	41.32979304	30000
12/05/2013	48.73763726	30000
13/05/2013	49.24765915	30000
14/05/2013	49.54795512	30000
15/05/2013	48.53721611	30000
16/05/2013	38,75262581	30000
Promedio móvil	692,00673962	30000

Mes: Junio – 2013		
Fecha de Muestreo	CO	ECA
01/06/2013	64,90379065	30000
02/06/2013	65,76688329	30000
03/06/2013	69,86973953	30000
04/06/2013	77,10164675	30000
05/06/2013	68,85525633	30000
06/06/2013	79,08271467	30000
07/06/2013	67,34593765	30000
08/06/2013	70,92917525	30000
09/06/2013	7194201881	30000
10/06/2013	76,79286563	30000
11/06/2013	67,40997144	30000
Promedio móvil	780,00368502	30000

Mes: Julio – 2013		
Fecha de Muestreo	CO	ECA
01/07/2013	69,57963126	30000
02/07/2013	71,58553949	30000
03/07/2013	72,24154785	30000
04/07/2013	73,25811757	30000
05/07/2013	72,26313254	30000
06/07/2013	73,21592819	30000
07/07/2013	73,77843948	30000
09/07/2013	74,18903951	30000
10/07/2013	75,93821664	30000
11/07/2013	75,52960512	30000
12/07/2013	78,49419591	30000
Promedio móvil	810,07345169	30000

Mes : Agosto		
Fecha Muestreo	CO	ECA
01/08/2013	63,17963123	30000
02/08/2013	65,38553949	30000
03/08/2013	62,24154785	30000
04/08/2013	63,25811757	30000
05/08/2013	65,33526386	30000
Promedio móvil	320,08997000	30000

Mes: Setiembre – 2013		
------------------------------	--	--

Fecha de Muestreo	CO	ECA
15/09/2013	59,55642817	30000
16/09/2013	50,90528621	30000
17/09/2013	41,55944377	30000
18/09/2013	60,01405586	30000
Promedio móvil	212,03521390	30000

Mes: Octubre -2013

Fecha de Muestreo	CO	ECA
12/10/2013	64.34582698	30000
13/10/2013	61.84504196	30000
14/10/2013	53.23531021	30000
15/10/2013	61,02087030	30000
16/10/2013	59,45690032	30 000
17/10/2013	68,12194062	30000
Promedio móvil:	368,02589039	30000

Mes: Noviembre -2013

Fecha de Muestreo	CO	ECA
20/11/2013	69.78887909	30000
21/11/2013	70,12945129	30000
22/11/2013	71,08486598	30000
Promedio móvil:	211,00319636	30000

Mes: Diciembre -2013

Fecha de Muestreo	CO	ECA
20/12/2013	50,67738068	30000
21/12/2013	51,32945129	30000
Promedio móvil:	102,00683197	30000

ANEXO 11

a) BASE DE COSTOS DE MATERIAL DE MUESTREO Y EQUIPOS AÑO 2012.

Descripción	Emisiones ug/m ³	Costos
COSTO DE ADQUISICIÓN	2 144,74	4752,00
Filtros Vol 8x10 (PM ₁₀)	2 144,74	4752,00
COSTO DE INSTALACIÓN	3 515,02	5924,27
Monitoreo de equipo Muestreador alto Volumen(PM ₁₀)	1 863,00	4745,87
Servicios diversos (envió informes) Facturas, muestras y materiales).	1 652,02	1 178,40
Total	5659,76	10 676,27

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca.

b) BASE DE DATOS DE COSTOS DE MATERIAL DE MUESTREO Y EQUIPOS AÑO 2013.

Descripción	Emisiones ug/m ³	Costos
COSTO DE ADQUISICIÓN	2 271,50	4 827,99
Filtros Vol 8x10 (PM ₁₀)	2 271,50	4 827,99
COSTO DE INSTALACIÓN	2856,50	6 076,25
Monitoreo de equipo Muestreador alto Volumen(PM ₁₀)	1655,00	4 821,86
Servicios diversos (envió informes) Facturas, muestras y materiales).	1201,50	1 254,39
Total	5 128,00	10 904,24

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca.

c) BASE DE DATOS DE DETALLE DE PARÁMETROS POR MUESTRA

TIPO MUESTRA: AIRE

Parámetro	Cantidad	P.U (S/)	recio Total
Envío del informe	01	20,00	20,00
Peso inicial	50	10,50	525,00
Transporte de Material	01	60,00	60,00
FiltrosPM ₁₀ (HI-VOL)	50	43,50	2175,00
Peso Final	50	10,50	525,00
Total			3305,00

Fuente: Municipalidad Provincial Cajamarca-2012

d) BASE DE DATOS DE TALLE DE PARÁMETROS POR MUESTRA

Tipo Muestra: **Calidad de Aire**

Parámetro	Método	Cant	P.U (S/)	P.Total
Envió del informe o factura (Provincia)	-	01	20,00	20,00
Peso inicial	-	30	10,50	399,00
Transporte de Material	-	01	60,00	60,00
Filtros PM ₁₀ (HI-VOL)Cuarzo		30	43,50	1653,00
Peso Final	-	30	10,50	399,00
Total				2531,00

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca-2012

e) ORDEN DE SERVICIO N° 1358

CODIGO	PARTIDA	CANT	NOMBRE	MONTO	SUB TOTAL
S871000020001	23271190	1,00	SERVICIOS DIVERSOS	94,4	S/94,4

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca 2012.

f) ORDEN DE SERVICIO N° 1347

CODIGO	PARTIDA	CANT	NOMBRE	MONTO	SUB TOTAL
S093000010059	23271190	1,00	SERVICIOS DIVERSOS	4745,87	S/4745,87

Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca 2012.

FIGURAS



Figura 1. Analizador de gases de monóxido de carbono (CO).ubicada en la Av. Hoyos Rubio.



Figura 2. Analizador de gases de monóxido de carbono (CO), ubicada en el jirón Sucre salida a la costa.



Figura 3. Analizador de gases de monóxido de carbono (CO, ubicada en la plazuela de San Pedro nos permite verificar que no está contaminando el medio ambiente porque el CO es cero.



Figura 4. El analizador de gases del monóxido de carbono (CO) está ubicada en la Plazuela Bolognesi. Nos permite verificar que no está contaminando el medio ambiente el CO es cero.



Figura 5. La combustión del motor del vehículo ubicada en la plazuela de Ramón Castilla nos permite verificar que no está contaminando el medio ambiente porque el CO es cero.



Figura 6. Analizador de gases de monóxido de carbono CO, ubicado en la plazuela de Chontapaccha,



Figura 7. Equipo de volumen (HiVOI), para la obtención de PM_{10} y un Kit de conversión en partículas menores de $PM_{2,5}$ en la estación de la Colmena Baja-Municipalidad Provincial de Cajamarca.



Figura 8. Estacion de monitoreo de Municipalidad Provincial Cajamarca ubicada en el Jr. Mariano Melgar N° 311-Barrio La Colmena Baja.



Figura 9. Muestreador del Dióxido de Nitrógeno (NO₂)



Figura 10. Muestreador del Monóxido de Carbono (CO)



Figura 11. Muestras etiquetadas y listas para su envío al laboratorio para su respectivo análisis.



Figura12. Filtro después del muestreo embalado para su transporte.