



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“CLASIFICACIÓN DE PASQUILL GIFFORD PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA EN CAJAMARCA PERIODO 2017 A 2020”

Tesis para optar el título profesional de

Ingeniera Ambiental

Autor:

Jhenyfer Jhanela Diaz Guerrero

Asesor:

Ing. Dra. IRMA GERALDA HORNA HERNÁNDEZ

<https://orcid.org/0000-0003-3961-0933>

Cajamarca – Perú
2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	Julián Ricardo Diaz Ruiz	09294063
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

DEDICATORIA

A Dios, por ser el inspirador y el motor de fuerza para sobrellevar este proceso y cumplir una de las metas más importantes en mi vida.

A mis padres Marivel Guerrero, Alberto Díaz y hermana Rita Díaz,
por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años.

A mi Abuelita Rita Mori, porque siempre estuvo detrás de mí durante toda mi época universitaria haciendo que este trabajo se realice con éxito.

A mi novio Jeiner Chávez por apoyarme incondicionalmente en todo momento, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte,
por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional, a mi
primo Ricky Ramírez por siempre ayudarme en temas referidos a la carrera, a mi abuelito
José Chiroque Yarlequé por todas las enseñanzas que me dejó y sé que siempre guiará mi
camino; manera especial, a mi asesora Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández, por su
acompañamiento y guía durante el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Justificación	12
1.4. Limitaciones	13
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Objetivos Específicos	13
1.6. Hipótesis	13
1.6.1. Hipótesis específicas	13
1.7. Marco teórico	14
a. Antecedentes	14

b. Bases teóricas	18
c. Definición de términos básicos.	23
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. Tipo de investigación	25
2.2. Variables del estudio	26
2.3. Población y Muestra	26
2.4. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos	27
2.5. Análisis de datos	29
2.6. Aspectos éticos	29
2.7. Procedimiento	30
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
4.1. Discusión	55
4.2. Conclusiones	59
REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variables del estudio</i>	26
Tabla 2 <i>Clasificación de Pasquill Gifford</i>	32
Tabla 3 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2017 WB-GP</i>	34
Tabla 4 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2017 WB-AY</i>	36
Tabla 5 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2018 WB-GP</i>	38
Tabla 6 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2018 WB-AY</i>	40
Tabla 7 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2019 WB-GP</i>	42
Tabla 8 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2019 WB-AY</i>	44
Tabla 9 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2020 WB-GP</i>	46
Tabla 10 <i>Clasificación Pasquill Gifford 2020 WB-AY</i>	47
Tabla 11 <i>Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2017</i>	49
Tabla 12 <i>Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2018</i>	49
Tabla 13 <i>Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2019</i>	50
Tabla 14 <i>Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2020</i>	51
Tabla 15 <i>Estabilidad atmosférica enero 2017 a enero 2020</i>	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Gradiente vertical de temperatura</i>	19
Figura 2 <i>Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas</i>	20
Figura 3 <i>Ubicación de estaciones meteorológicas en Cajamarca</i>	21
Figura 4 <i>Proceso de selección de estudios especificando los criterios de exclusión</i>	29
Figura 5 <i>Frecuencia diaria de inestabilidad atmosférica por horas</i>	52
Figura 6 <i>Estabilidad atmosférica 2017 a 2020</i>	53

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: <i>Cálculo de la gradiente vertical</i>	32
--	----

RESUMEN

La investigación busca determinar la estabilidad atmosférica con la aplicación del método de Pasquill -Gifford con el fin de determinar la estabilidad atmosférica en el distrito de Cajamarca durante el periodo enero 2017 a enero 2020, por medio de la data de las estaciones meteorológicas Augusto Weberbauer, Aylambo y La Granja Porcón, para posteriormente procesar los datos de temperatura, la diferencia altitudinal entre las estaciones meteorológicas, gradiente vertical y conocer el estado en el que se encuentra la zona de estudio. Dentro de los resultados con esta investigación logramos determinar que en la categoría A (muy inestable) cuenta con 677 incidencias siendo 58.67%, categoría B (medianamente inestable) cuenta con 29 incidencias siendo 2.51%, categoría C (ligeramente inestable) cuenta con 15 incidencias siendo 1.30%, categoría D (neutra) cuenta con 110 incidencias siendo 9.53%, categoría E (ligeramente estable) cuenta con 212 incidencias siendo 18.37%, categoría F (medianamente estable) cuenta con 96 incidencias siendo 8.32% y finalmente la categoría G (muy estable) cuenta con 15 incidencias siendo 1.30% durante todo el periodo de estudio. Es decir, se logró demostrar que en Cajamarca existe inestabilidad atmosférica en gran medida y en menor medida se tiene estabilidad neutra a muy estable, lo cual indica que el tema de contaminación atmosférica debe ser reportado a la población para que se tomen medidas a tiempo y se repliquen estudios en el tema para futura toma de decisiones.

Palabras clave: Pasquill Gifford, atmósfera, estabilidad atmosférica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la atmosfera suceden diversos procesos donde se efectúa la dispersión de contaminantes en el aire, con el pasar de los años este se ha convertido en un grave problema que se incrementa día a día y genera preocupación en todo el mundo.

La comprensión de procesos atmosféricos es de suma importancia especialmente si las ciudades tal como lo es Cajamarca se encuentra en zona montañosa donde la influencia geográfica y relieve son propicios para los procesos de contaminación del aire.

Se debe tener en cuenta que es de gran importancia predecir en que meses se tiene mayor inestabilidad atmosférica para poder alertar a la población y de esta manera poder tomar medidas adecuadas para proteger la salud de las personas.

En el distrito de Cajamarca, el aire que se respira está contaminado debido a las actividades antropogénicas especialmente por el parque automotor y la nueva adquisición de vehículos por parte de la población Cajamarquina la cual genera mayor quema de combustibles fósiles, muchas panaderías que aún usan leña generando emisiones de gases que no son controlados, la gran cantidad de pollerías que se encuentran en toda la ciudad, con chimeneas que no se encuentran a la altura adecuada además de la quema de carbón lo cual genera más y más problemas ambientales, y ladrilleras las cuales queman sus ladrillos con carbón de piedra el cual es mucho más dañino, los hornos donde trabajan esta actividad no se encuentran regulados ni fiscalizados y superan los ECA's (Estándares de Calidad Ambiental) según el DS N°003-2008-MINAM.

1.1. Realidad problemática

Desde sus orígenes el ser humano ha emitido contaminantes a la atmósfera; sin embargo, éstos se incrementaron a gran escala durante la revolución industrial debido al remplazo del trabajo manual por maquinaria y la quema de combustibles fósiles. Este desarrollo se expandió al resto del planeta, propiciando el auge de ciudades sobrepobladas, contaminadas y, en consecuencia, efectos nocivos en la salud de la población. Ramírez (2006).

Según IDEAM (2012) dice literalmente “ La calidad del aire viene determinada por la presencia en la atmósfera de contaminantes atmosféricos, que pueden ser el material particulado o contaminantes gaseosos como el dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y ozono troposférico (O₃), Altos niveles de estos contaminantes en la atmósfera generan aumento en los casos de enfermedades respiratorias agudas y la visible reducción en la calidad de vida de los ciudadanos en áreas de mayor actividad industrial y flujo vehicular”.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la clasificación de Pasquill Gifford determina la estabilidad atmosférica en la ciudad Cajamarca en el periodo enero 2017 a enero 2020?

1.3. Justificación

La justificación de la presente investigación radica en que esto dará lugar a una revisión de la situación actual, que se utilizará para la toma de decisiones, el incremento de la contaminación atmosférica contribuyendo en el beneficio ambiental en la ciudad de Cajamarca.

La contaminación del aire es una amenaza oculta para la salud ambiental, y el clima extremo puede conducir a un aumento de las enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación del aire, lo que reduce completamente la calidad de vida de sus ciudadanos.

1.4. Limitaciones

La limitación que se tuvo durante la investigación fue la escasez de estudios de investigación sobre el tema. La topografía y la persistencia e incremento de contaminantes atmosféricos causados por las actividades antropogénicas a lo largo del tiempo

1.5. Objetivos

- ✓ Clasificar según Pasquill Gifford la estabilidad atmosférica en Cajamarca.

1.5.1. Objetivos Específicos

- ✓ Comparar los datos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, la estación meteorológica de Aylambo y la estación de La Granja Porcón.
- ✓ Determinar la gradiente vertical bajo la diferencia de temperaturas y altitud de las estaciones meteorológicas.
- ✓ Clasificar los datos de las estaciones meteorológicas según parámetros para el cálculo de Pasquill Gifford

1.6. Hipótesis

- ✓ La clasificación de Pasquill Gifford logra determinar la estabilidad atmosférica en Cajamarca.

1.6.1. Hipótesis específicas

- ✓ Se logra determinar la estabilidad atmosférica en la ciudad de Cajamarca para relacionar si las precipitaciones tienen alguna repercusión.
- ✓ Al identificar las causas que afectan la estabilidad atmosférica se puede plantear posibles alternativas de solución.

1.7. Marco teórico

a. Antecedentes

Dentro de los antecedentes internacionales tenemos:

Según "El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) adscrito al departamento de agricultura de los Estados Unidos, hace referencia a la gestión de los recursos naturales, específicamente la gestión del recurso atmosférico (Atmospheric Resource Quality Management) como una condición para la protección del medio ambiente, la salud pública y el mantenimiento de actividades productivas sostenibles, por medio de la elaboración de estudios de impacto ambiental en calidad del aire". (NRCS, 2008).

Según Martin, (1996). Las masas de aire que componen los flujos convectivos, aumentan su temperatura, a partir de la radiación recibida del sol y el calor emitido por la superficie terrestre, que son sus principales fuentes de calor, éstos en conjunto, ocasionan que la temperatura sea máxima en su parte inferior (Capa límite de superficie), y posea un valor medio de temperatura de alrededor de los 15°C, a partir de ahí la temperatura comienza a descender con la altura con una razón de cambio de 6.5°C por cada 100 m de altura, hasta llegar a -70°C en el límite superior de la troposfera llamado tropopausa, esto se debe a que con el aumento de la altura la cantidad de gases atmosféricos sobre determinado punto será cada vez menor, y por tanto, la presión atmosférica también disminuye, siendo así que para una presión baja las masas de aire tengan permitido expandirse, llevando a que las moléculas de aire se alejen entre sí, ocasionando una disminución en la temperatura de las masas de aire en general, la velocidad en que se da ésta disminución en la temperatura, se conoce como gradiente adiabático y se expresa a partir de la tasa de decaimiento o gradiente negativo neto,

que para la tropósfera, - 9 en promedio espacial y temporal se encuentra en un valor aproximado de 5 K/Km, o $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

Por otro lado, Glynn y Heinke, (1999) Afirman que de esta manera en la parte más baja de la troposfera, el aire es más cálido y por lo tanto menos denso, por lo que tiende a ascender por efecto de la diferencia de densidades, mientras que en la parte más alta el aire frío es más denso y tiende a descender por otra zona en donde no hay un ascenso vertical del aire cálido, produciendo con ello un efecto de mezclado vertical, no obstante aunque esta se define como una regla general en cuanto al comportamiento de las masas de aire en la troposfera, es posible encontrar zonas en las que existen perturbaciones del gradiente térmico vertical (GTV) debido a enfriamientos y calentamientos desiguales, producidos por: el sol, la radiación saliente del suelo, el transporte de calor por los vientos y corrientes oceánicas, dando así razón a los cambios abruptos de temperatura durante un día cualquiera, que en ocasiones provocan, que la temperatura incremente con la altura, a este último hecho se le define como inversión térmica. Benito y Campo, (2004).

Según el informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011- 2015, en la ciudad de Bogotá las estaciones de Carvajal- Sevillana y Kennedy presentaron las concentraciones más altas entre las estaciones analizadas a nivel nacional superando el límite máximo permisible anual de $50 \mu/\text{m}^3$ y excedencias para el límite diario de $100 \mu/\text{m}^3$ a lo largo de los 5 años de estudio, concentraciones en todo sentido exorbitantes en comparación con los límites permisibles decretados por la OMS de $20 \mu/\text{m}^3$ media anual y $50 \mu/\text{m}^3$ media diaria. Según el informe, las concentraciones que superaron el límite diario permisible ($50 \mu/\text{m}^3$) contemplado en la Resolución 2254 de 2017 fueron Kennedy ($69 \mu/\text{m}^3$), Puente Aranda ($55 \mu/\text{m}^3$) y Carvajal Sevillana ($120 \mu/\text{m}^3$). (IDEAM, 2016).

Hoy, en Colombia, el 74% de la población detecta la contaminación ambiental. El aire como uno de los problemas más graves del país, también afecta directamente a la población de bajos ingresos. Causa alrededor de 7,000 muertes prematuras por año, 7,400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13,000 hospitalizaciones por enfermedades respiratorias crónicas y 255,000 visitas a la sala de emergencias. Tyler et al., (2013).

De la misma manera Santa Cruz, (2000) estudió la difusión de los contaminantes gaseosos en la baja atmósfera empleando la metodología propuesta por Pasquill – Gifford para la categorización de la estabilidad atmosférica y la aplicación del modelo basado en la dispersión gaussiana de los contaminantes. La evaluación se realizó en la Ciudad de Rosario en Argentina.

En caso de disminución de las emisiones generadas durante condiciones atmosféricas inestables López, (2004) dice que es mayor respecto a condiciones atmosféricas estables y neutras.

Mientras que por otro lado Rodríguez et al., (2006) en su evaluación aplicada en la ciudad cubana de Pinar del río, determinó que las condiciones optimas para que exista dispersión de contaminantes en la troposfera se presentan durante la estación de verano específicamente durante el día, siendo el horario más favorable el de mayor turbulencia.

Según Bedoya (2008) en su artículo tiene como objetivos de estudio conocer cómo se comportan los contaminantes atmosféricos en el valle de Aburrá, mediante los datos obtenidos de monitoreos de la Calidad del Aire. Obteniendo como resultado la polución del aire causado por PM en Medellín, lo cual genera graves consecuencias en la salud de las personas.

Los trabajos sistemáticos sobre deterioro ambiental en la República Mexicana surgen en 1980, particularmente en México DF y Toluca Estado de México. La Ciudad de México involucra una elevada densidad poblacional, vehicular e industrial producto de un acelerado

desarrollo tecnológico; por tanto, no es novedad que experimente problemas ambientales, destacando la contaminación del aire. Molina, (2005).

Moyobamba, (2015) Afirman que el comportamiento del viento en Mexicali durante el año suele tener dos patrones muy marcados, los vientos occidentales representan el 69% debido a su constante recurrencia durante el periodo de octubre a junio. Por otro lado, los vientos orientales representan el 31% pues ocurren en los meses de julio a septiembre. Es importante conocer que este comportamiento estacional representa el transporte de material particulado, así como de los contaminantes de un lugar a otro, sin embargo, dicho patrón no refleja obligatoriamente el recorrido anual de contaminantes debido a que existen otro tipo de variables que pueden ser implicadas, temperatura, radiación solar o estabilidad atmosférica la cual es causada por el anticiclón característico en dicha región.

En cuanto a los antecedentes nacionales tenemos poca disponibilidad de datos debido a que existen pocos estudios sobre el presente tema.

Según Vicuña, (2017) en su estudio en Pucallpa, Perú durante los meses de enero a diciembre 2015 menciona que, de acuerdo con la evaluación sobre la estabilidad atmosférica, entre la 1pm y las 4 pm se propician condiciones favorables para la dispersión de contaminantes debido a que el comportamiento atmosférico de Pucallpa es inestable y muy inestable.

Por otro lado, según Navarro (2019) realiza una evaluación de la influencia de los aerosoles provenientes de la quema de biomasa en región Andina central del Perú entre julio a octubre del 2017. Para ello utilizó el modelo regional de predicción del tiempo atmosférico Weather Research and Forecasting con su componente de química de la atmósfera (WRF-Chem) poniendo especial énfasis en la parametrización de la estabilidad atmosférica. Así las

parametrizaciones empleadas fueron, Monin-Obukhov para la capa superficial, ACM2 para la capa límite planetaria, además de otros para el componente de la química de la atmósfera. Entre sus resultados ha mostrado que las condiciones meteorológicas, incluyendo la estabilidad atmosférica, desfavorecen la ocurrencia de incendios en la región del río Mantaro durante todo el periodo; mientras que el incremento de la precipitación hacia el mes de octubre contribuye a la reducción de las concentraciones de aerosoles.

Finalmente, tenemos los antecedentes locales:

Según Valle y Rodríguez, (2021) Los posibles escenarios futuros en cuanto a la calidad de aire en Tacna no serán alentadores, este es un tema complicado debido a que no existe un adecuado control en el transporte público, la brecha de la alta demanda en el uso de combustible, el incremento en el parque automotor y en el crecimiento poblacional, así como su expansión a lo largo del territorio.

b. Bases teóricas

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), se encarga de brindar información acerca del pronóstico del tiempo, sin embargo, esta no es su única función ya que también proporciona asesorías y estudios científicos sobre hidrología, meteorología y agronomía.

Actualmente SENAMHI está encargado de la operación, organización y control de la red nacional de 900 Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas a nivel nacional.

Alfaro, (2008) citado por García (2012) dice que los contaminantes atmosféricos en la superficie del aire se concentran al punto de ser dañinos o tóxicos para los organismos.

Según SDA, (2009) citado por Franco, (2012) nos dice que monitorear la calidad del aire es una de las más importantes herramientas para realizar el seguimiento de las medidas que gobierno local ha implementado con la finalidad de renovar la condición ambiental de la ciudad. Según el seguimiento de los contaminantes críticos para la calidad del aire es el material particulado respirable (PM10) debido a sus altas concentraciones.

Según Lazaride (2011) La estabilidad atmosférica está asociada a condiciones de mayor o menor dispersión de polución atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento.

Lazaride, (2011) Por lo general la temperatura atmosférica disminuye con la altitud a razón de $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. En algunas circunstancias la temperatura puede aumentar con la altura (Gradiente vertical de temperatura), tal como se aprecia en la siguiente figura. Formando zonas atmosféricas estables, lo que se conoce como el fenómeno de inversión térmica el cual impide la dispersión vertical de contaminantes.

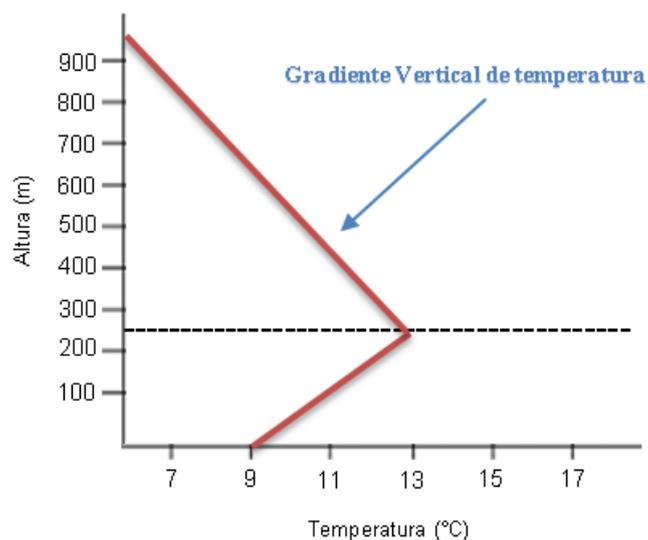


Figura 1 Gradiente vertical de temperatura

Fuente: Determinación de la inversión térmica en la ciudad de Cajamarca, revista científica

Ecoscintia Vol. 1/N^o1/ enero – junio 2016 pág. 63.

Cajamarca se encuentra ubicada en una de las laderas del valle Cajamarca, por lo tanto, está propensa a las situaciones meteorológicas características de la ciudad conocida como brisas locales las cuales circulan entre el valle y montaña. Existen acontecimientos nocturnos cuando el cielo se encuentra despejado y la velocidad del viento está calmada, produciendo la formación de un delgado estrato nuboso como una especie de capa cercana al suelo asociada a la inversión térmica, de ahí la inclinación de determinar la estabilidad atmosférica en Cajamarca.

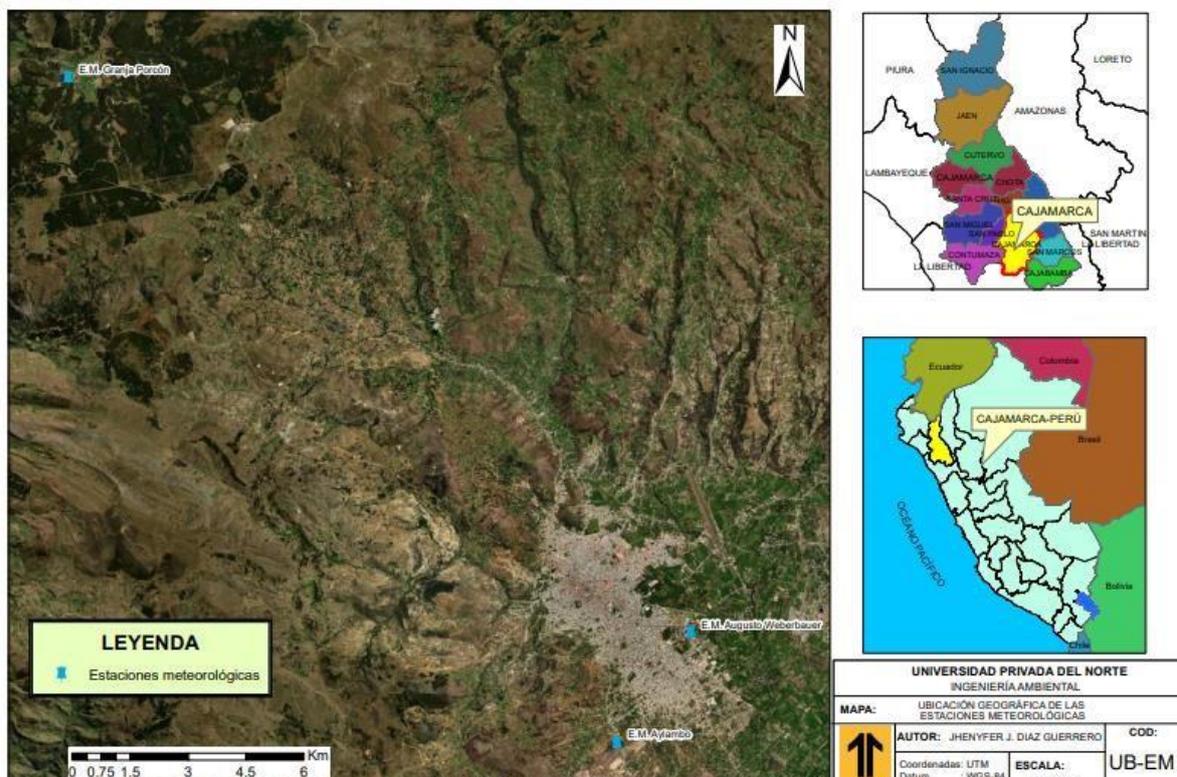


Figura 2 Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

Fuente: Imagen satelital descargada de Google Earth procesada por la tesista en software ArcGIS

Para conocer la estabilidad atmosférica en la ciudad de Cajamarca, se hizo uso de los datos hidrometeorológicos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, la estación meteorológica de Aylambo y la estación meteorológica Granja Porcón, los cuales fueron obtenidos de la página web de SENAMHI, donde aparecen todas las estaciones meteorológicas del país, luego se busca al departamento de Cajamarca y buscamos las

estaciones meteorológicas con las que se trabajará y posteriormente se procede a la descarga de datos en formato Excel.

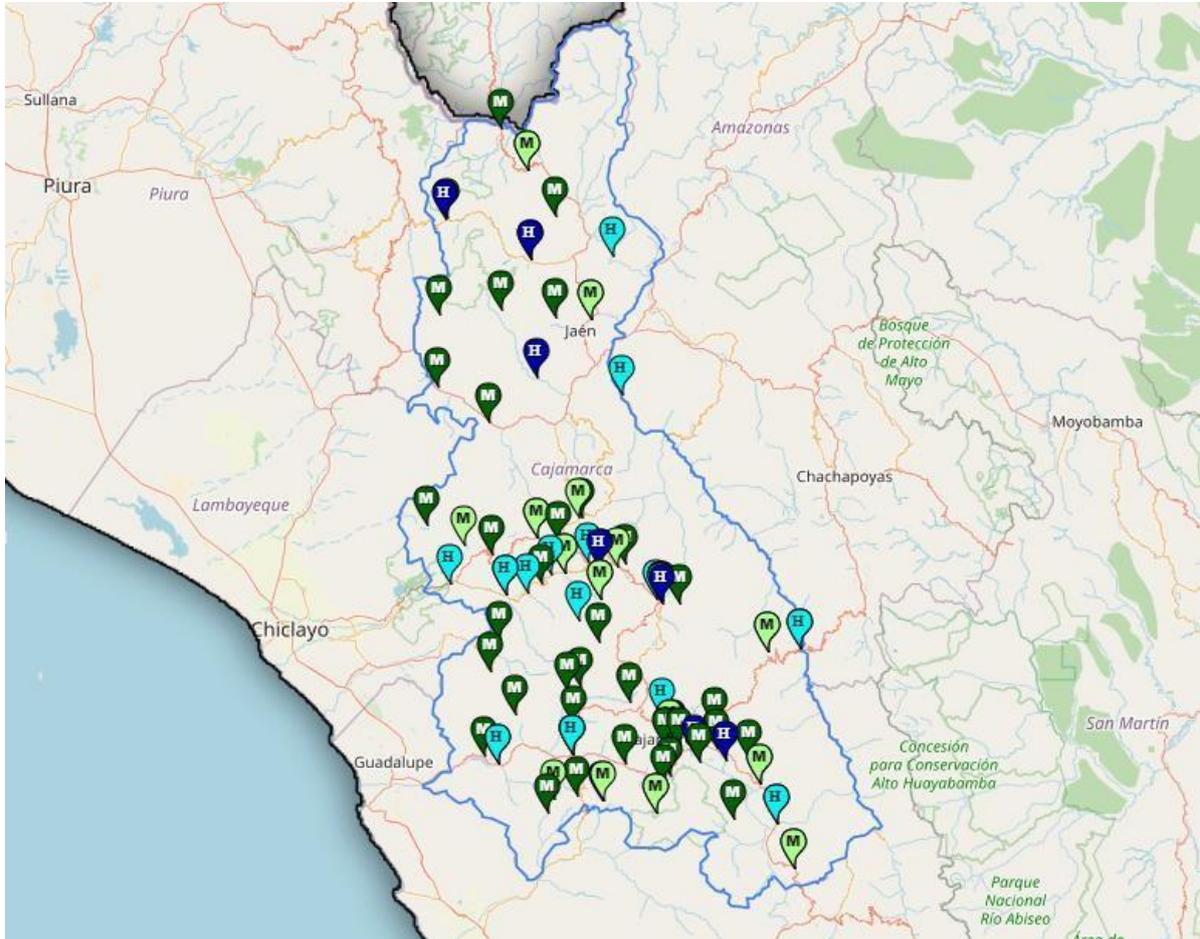


Figura 3 Ubicación de estaciones meteorológicas en Cajamarca

Fuente: Imagen descargada de SENAMHI

Se procederá a cuantificar la estabilidad atmosférica mediante la clasificación de Pasquill Gifford, el cual usa letras de la A hasta la G, donde cada letra explica el tipo de comportamiento que tiene la atmósfera en diversas condiciones.

Para el procesamiento de datos se tuvo en cuenta el parámetro de temperatura y la diferencia de esta en ambas estaciones meteorológicas, del mismo modo se procesó la diferencia entre la altitud a la que se encuentran las estaciones meteorológicas con las que se trabajará, luego de ello se calculó la gradiente vertical multiplicando la diferencia de temperatura de las estaciones meteorológicas por la altura (cada 1000m.) y todo esto fue dividido entre la diferencia encontrada entre la altitud de ambas estaciones de monitoreo. Posterior a ello clasificamos según Pasquill Gifford la gradiente vertical obtenida en cada día durante las 24 horas para tener datos de manera más exacta.

Ambiente

Son los factores físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de vida. (MINAM, 2012, p. 45)

Smog

La contaminación del aire se caracteriza por la presencia de sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, así como plumas de agua. La palabra "niebla" es una abreviatura de las palabras inglesas "smoke" y "ceo". La estabilidad del aire se mantiene a través del intercambio de calor. (MINAM, 2012, p. 224)

Población

Un grupo de personas del mismo tipo conviven en una comunidad con condiciones que satisfacen sus necesidades de vida. (MINAM, 2012, p. 146)

Aire

La fina capa de gases que cubre la tierra se compone de nitrógeno, oxígeno y otros gases como el dióxido de carbono, vapor de agua y gases inertes. Es esencial para la vida de los seres vivos. (MINAM, 2012, p. 42)

c. Definición de términos básicos.

Contaminación:

Es un cambio nocivo en las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente. Afecta la vida de las organizaciones y en especial de las personas. (MINAM, 2012, p. 67)

Contaminación Ambiental:

Introducción de contaminantes humanos en el medio ambiente en exceso de cantidades y/o concentraciones que superan los límites máximos permisibles, teniendo en cuenta la naturaleza o composición de los contaminantes en el medio ambiente. (MINAM, 2012, p. 68)

Atmósfera:

Es la envoltura gaseosa del planeta Tierra. Está conformada por un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y otros elementos como el argón, dióxido de carbono, trazos de gases nobles como neón, helio, kriptón, xenón, además de cantidades aún menores de hidrógeno libre, metano, y óxido nitroso. (MINAM, 2012, p. 46)

Contaminación atmosférica:

Es la presencia de sustancias químicas, objetos, partículas o microorganismos que alteran la calidad del medio ambiente y la posibilidad de vida. Las causas de la contaminación pueden ser naturales o humanas. Esto se debe principalmente a las fuentes de combustibles fósiles y las emisiones de partículas y gases industriales. El problema de la contaminación atmosférica hace relación a la densidad de partículas o gases y a la capacidad de dispersión de estas, teniendo en cuenta la formación de lluvia ácida y sus posibles efectos sobre los ecosistemas. (MINAM, 2012, p. 68)

Inversión térmica:

Fenómeno climático en que el aire cerca de la tierra, que contiene toda la contaminación, se hace más frío que la capa de aire más alta. Esta situación impide que el aire circule hacia arriba y atrapa todos los contaminantes cerca de la tierra. (MINAM. 2012, p. 82)

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El diseño de la presente investigación es No Experimental, según (Escamilla, 2010) Afirma que es la realización de un estudio sin manejar variables de propósito. Se basa en la expectación de diversos acontecimientos y como se dan en su entorno originario con el fin de poder analizarlos después.

El enfoque cuantitativo, ya que, evidencia análisis numérico y el uso de técnicas estadísticas; Según la naturaleza de los datos, es cuantitativa. Para (Díaz, 2014) Debido a que los datos obtenidos son el resultado de la medición realizada, estos serán numéricos y al mismo tiempo son tratados por métodos específicos para conocer sus posibles efectos. Por ello Se analizarán los indicadores y luego se dará una resolución para el propósito de la investigación. Según (Sampieri, 2016) Nos dice que mediante el diseño transversal se recolecta datos en un solo momento, en un tiempo específico, con el propósito de describir variables y su incidencia de interrelación en un determinado momento.

Es una investigación de tipo aplicada, ya que a partir de los datos obtenidos se procesan resultados de la medición mediante métodos y análisis de indicadores para dar solución al propósito de investigación. Estas indagaciones utilizan el análisis para conocer cómo se muestra un determinado fenómeno y sus componentes; permitiendo así detallar el fenómeno estudiado mediante la medición de uno o más de sus atributos.

2.2. Variables del estudio

Las variables del estudio están clasificadas de la siguiente forma:

Tabla 1

Variables del estudio

Variables	Dimensiones	Indicadores
Dependiente	Clima	°C
Estabilidad atmosférica	Temperatura	°C
	Altitud	m.s.n.m.
Independiente		
Clasificación de Pasquill Gifford	Velocidad de viento	m/s

Clasificación de variables de estudio

2.3. Población y Muestra

Población: La población de estudio es estabilidad atmosférica en la ciudad de Cajamarca durante el periodo 2017 a 2020, por lo tanto, también implica a los 1 341 012 habitantes en el distrito de Cajamarca los cuales son afectados directamente. Se tuvo una búsqueda inicial de 133 documentos (33 de Dialnet, 22 de Redalyc, 28 de Google académico, 11 del repositorio Upn, 26 de Scielo y 13 de ScienceDirect). Bajo criterios de inclusión y exclusión se tuvo 32 documentos como resultado los cuales coincidían con las palabras clave de búsqueda, estos fueron seleccionados para realizar lectura y análisis completo. Se incluyó 17 documentos en la revisión sistemática de literatura (1 de Dialnet, 1 de Redalyc, 7 de Google académico, 1 del repositorio Upn, 6 de Scielo y 1 de ScienceDirect) la cual sirvió de apoyo para la elaboración de esta investigación.

Muestra: Datos del monitoreo realizado por la estación meteorológica Augusto Weberbauer, estación meteorológica Aylambo y estación meteorológica de La Granja Porcón.

2.4. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos

- **Técnica:** Observación directa y procesamiento de datos.
- **Justificación:** con el propósito de saber y clasificar datos, además de poder determinar la estabilidad atmosférica en Cajamarca mediante la clasificación de Pasquill Gifford.
- **Instrumento:** Data y parámetros de SENAMHI, procesamiento de datos de las estaciones meteorológicas Weberbauer, Aylambo y Granja Porcón.
- **Método:** Cuantitativo
- **Fuente:** Primaria

El estudio se realizó mediante revisión de la literatura científica, llevando a cabo una búsqueda en bases de datos de acceso libre: Redalyc, Google Académico y SciELO; sistemas que integran revistas de alta calidad científica y académica.

Las bases de datos utilizadas para la búsqueda de información fueron:

Dialnet: Es un portal bibliográfico donde hay revistas, artículos de literatura científica hispana.

Redalyc: Es una hemeroteca en línea de literatura científica Iberoamérica.

Google Académico: Es un buscador abocado en la investigación de artículos, tesis y revistas científicas.

Repositorio universitario: Es la biblioteca universitaria donde incluyen tesis, artículos y revistas científicas.

ScienceDirect: Es un buscador abocado en la investigación de artículos, tesis y revistas científicas.

Scielo: Es un portal de artículos y revistas científicas.

Para la recolección de datos se desarrolló mediante la siguiente estrategia de búsqueda: formulación de la pregunta, búsqueda bibliográfica, identificación de los estudios, sistematización de datos, elección del artículo y análisis primario, evaluación y análisis final de los artículos.

En la recopilación de información para la inclusión se tuvo en cuenta aquellos estudios que se realizaron desde el año 2007 hasta la actualidad sobre Pasquill Gifford, atmósfera y estabilidad atmosférica. El siguiente esquema explica claramente el proceso que se realizó al seleccionar los diferentes documentos en la base de datos: Dialnet, Redalyc, Google Académico, el repositorio de la Universidad Privada del Norte, Scielo y ScienceDirect, los cuales tenían que cumplir ciertos criterios de inclusión tales como año de publicación de los documentos y palabras clave y exclusión como la influencia de la inversión térmica en la contaminación atmosférica, incluyendo 17 documentos en la revisión sistemática.

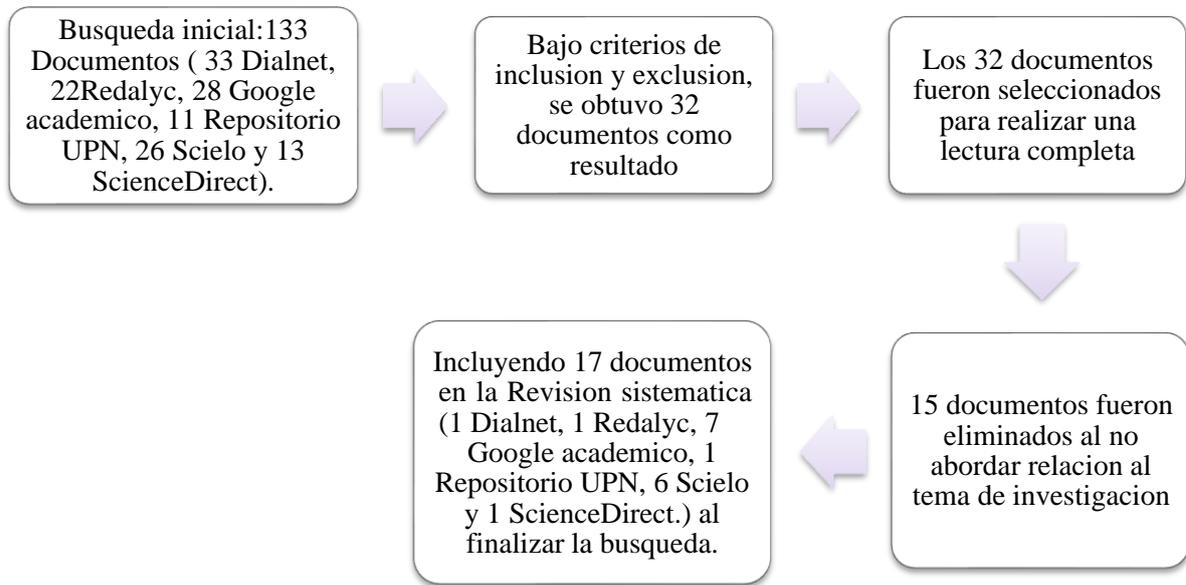


Figura 4 Proceso de selección de estudios especificando los criterios de exclusión

Cada documento fue analizado, asimismo debía tener relación con las palabras clave

Clasificación de Pasquill Gifford, atmósfera y contaminación atmosférica.

2.5. Análisis de datos

Los resultados obtenidos se organizarán para poder presentarse mediante:

- Tablas
- Gráficos
- Histograma

2.6. Aspectos éticos

Los aspectos éticos para el presente trabajo de investigación están definidos de la siguiente forma: se ha elaborado con fuentes confiables y verídicas, asimismo, se respetó el derecho de los autores en cuanto a su autenticidad y acceso netamente abierto.

2.7. Procedimiento

Para el análisis de datos se tuvo en cuenta ingresar a la página del SENAMHI donde se ubicó a la estación meteorológica Augusto Weberbauer, la estación de aylambo y la estación de La Granja Porcón; posteriormente se procedió a descargar los datos que se utilizaran como la temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento para posteriormente procesarlo en Excel.

Para la revisión bibliográfica se realizó la observación de diversos documentos entre los cuales se tuvo, tesis, revistas científicas, libros, etc. Mediante la Clasificación de Pasquill-Gifford se sistematizarán los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas, donde determinaremos la estabilidad atmosférica según la clasificación de Pasquill-Gifford en la ciudad de Cajamarca. Según la Clasificación de Pasquill Guifford de A hasta C se tiene inestabilidad atmosférica debido a que durante el día el sol calienta la superficie terrestre generando patrones de flujo turbulentos debido a la convección del aire. La letra D representa la estabilidad neutral, E y F se da durante la noche, mientras que la G solo se usa cuando es de noche, pero sobre algún cuerpo hídrico (ríos, lagos o mares). La Gradiente de temperatura es quien se encarga de influenciar la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Finalmente se elaborará tablas estadísticas, cuadros y gráficos con los resultados obtenidos en Microsoft Excel.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En los datos descargados de las estaciones meteorológicas usamos el de temperatura ya que este va de la mano con la estabilidad atmosférica, si existe un cambio en la temperatura por consecuencia se genera inestabilidad atmosférica, por ello se debe tener en cuenta que a mayor altura se tiene menor temperatura. Hallamos las diferencias altitudinales respectivamente de cada una de las estaciones con el fin de poder aplicarlas en el cálculo de la gradiente vertical donde la diferencia de temperaturas obtenidas anteriormente se multiplica por 1000 y todo ello es dividido entre la diferencia altitudinal entre las estaciones meteorológicas dando como resultado la gradiente vertical por cada 1000m.

En la presente investigación se analizó la temperatura diaria de los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre de los años 2017, 2018, 2019 y enero de 2020.

- ✓ Estación meteorológica Augusto Weberbauer: 2673 m.s.n.m.
- ✓ Estación meteorológica Aylambo: 2908 m.s.n.m.
- ✓ Estación meteorológica Granja Porcón: 3149 m.s.n.m.

Diferencia altitudinal entre las estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo

$$2673 - 2908 = -235$$

Diferencia altitudinal entre las estaciones meteorológicas Weberbauer y Granja Porcón

$$2673 - 3149 = -476$$

Se debe tener en cuenta que la gradiente vertical no es un numero especifico, este varia de manera horaria, por ello antes de proceder al calculo de esta se promedió la temperatura máxima y mínima diaria, para posteriormente obtener mediante formula la gradiente vertical de cada día durante el periodo de estudio.

Cálculo de la gradiente vertical

$$\frac{\text{Temperatura diaria} \times 1000 \text{ msnm}}{\Delta \text{ altitudinal de las E. M}} = \text{Gradiente vertical}$$

Ecuación 1: *Cálculo de la gradiente vertical.*

Se procederá a cuantificar la estabilidad atmosférica mediante la clasificación de Pasquill Gifford, el cual usa letras de la A hasta la G, donde cada letra explica el tipo de comportamiento que tiene la atmósfera en diversas condiciones.

Tabla 2

Clasificación de Pasquill Gifford.

Tiempo y Clima	Clase	Descripción	Variación de Temperatura con la Altura
Día Soleado	A	Muy inestable	Desciende más de 5.6°C cada 1000m.
Día	B	Medianamente inestable	Desciende entre 5.1°C y 5.6°C cada 1000m.
Día	C	Ligeramente inestable	Desciende entre 4.5°C y 5°C cada 1000m.
Nublado o con viento	D	Neutra	Desciende entre 1.5°C Y 4.5°C cada 1000m.
Noche	E	Ligeramente estable	Aumenta de 1.5°C y 4.5°C cada 1000m.
Noche	F	Medianamente estable	Aumenta entre 4.6°C y 12°C cada 1000m.
Noche	G	Muy estable	Aumenta más de 12°C cada 1000m

Fuente: Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

Desde A hasta C se tiene inestabilidad atmosférica debido a que durante el día el sol calienta la superficie terrestre generando patrones de flujo turbulentos debido a la convección del aire. La letra D representa la estabilidad neutral, E y F se da durante la noche, mientras que la G solo se usa cuando es de noche, pero sobre algún cuerpo hídrico (ríos, lagos o mares). La Gradiente de temperatura es quien se encarga de influenciar la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Para el procesamiento de datos se tuvo en cuenta el parámetro de temperatura y la diferencia de esta en ambas estaciones meteorológicas, del mismo modo se procesó la diferencia entre la altitud a la que se encuentran las estaciones meteorológicas con las que

se trabajará, luego de ello se calculó la gradiente vertical multiplicando la diferencia de temperatura de las estaciones meteorológicas por la altura (cada 1000m.) y todo esto fue dividido entre la diferencia encontrada entre la altitud de ambas estaciones de monitoreo. Posterior a ello clasificamos según Pasquill Gifford la gradiente vertical obtenida en cada día durante las 24 horas para tener datos de manera más exacta.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de la Granja Porcón y posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2017, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 3

Clasificación Pasquill Gifford 2017 WB-GP

CLASIFICACIÓN PASQUIL GIFFORD 2017 WB-GP							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	27	1	2	1	0	0	0
FEBRERO	27	0	0	1	0	0	0
MARZO	30	0	0	1	0	0	0
ABRIL	21	1	0	1	2	5	0
MAYO	29	1	1	0	0	0	0
DICIEMBRE	31	0	0	0	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2017(estaciones meteorológicas Weberbauer y Granja Porcón) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Valle M. y Rodríguez K. 2021)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente se tiene inversión térmica a pesar de que los meses que son estudiados son de temporada de lluvia.

NOTA: Se debe tener en cuenta que en la temporada de lluvia las precipitaciones son de manera constante y estas al caer en la troposfera atrapan todos los sólidos sedimentables que se encuentran en el aire durante su caída.

Lo cual implica que las precipitaciones ayudan a reducir los sólidos sedimentables en el aire, sin embargo, el fenómeno de inversión térmica es muy marcado. Como se puede apreciar en la siguiente figura se evaluaron 6 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

De los meses estudiados podemos concluir que el 91% pertenecen a la categoría A (muy inestable), el 1 % son de la categoría B (medianamente inestable), el 2% pertenecen a la categoría C (ligeramente inestable) y solo el 2% se encuentra en la categoría D (neutra), 1% tipo E (ligeramente estable y 3% tipo F (medianamente estable). Por lo tanto, podemos afirmar que tenemos 91% de inestabilidad atmosférica la cual es generada por patrones de flujos turbulentos debido a la convección del aire.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de Aylambo y posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2017, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 4

Clasificación Pasquill Gifford 2017 WB-AY

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2017 WB-AY							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	5	2	3	7	7	3	4
FEBRERO	0	0	0	5	15	8	0
MARZO	3	1	1	8	13	5	0
ABRIL	0	0	0	3	14	12	1
MAYO	0	0	0	0	13	14	4
DICIEMBRE	0	0	0	5	19	7	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2017 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Valle M. y Rodríguez K. 2021)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas más estables ya que la gradiente de temperatura es la encargada de influenciar la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

De los meses estudiados el 4% pertenecen a la categoría A (muy inestable), 2% a la categoría B (medianamente inestable), 12% a la categoría C (ligeramente inestable), el 15% es de categoría D (neutra), mientras que el 45% es de categoría E (ligeramente inestable), el 27% pertenecen a la categoría F (medianamente inestable) y finalmente el 5% es de categoría G (muy estable). Por lo tanto, podemos afirmar que en su mayoría en las estaciones Aylambo y Weberbauer durante el periodo 2017 de los meses estudiados obtuvimos 8% de inestabilidad lo que demuestra que, si existe presencia de inversión térmica, aunque en menor medida comparado con la estación de la Granja Porcón en el mismo año, asimismo, el 45% va de ligeramente estable a muy estable lo cual implica que existe mayor dispersión de contaminantes por ello la inversión térmica es en menor medida.

Según Universidad Técnica Estatal De Quevedo (2017) se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de la Granja Porcón y posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2018, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 5

Clasificación Pasquill Gifford 2018 WB-GP

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2018 WB-GP							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	31	0	0	0	0	0	0
FEBRERO	27	1	0	0	0	0	0
MARZO	30	0	1	0	0	0	0
ABRIL	28	1	1	0	0	0	0
MAYO	30	0	0	1	0	0	0
DICIEMBRE	26	2	0	3	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2018 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Granja Porcón) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Universidad Técnica Estatal De Quevedo, 2017)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas mayormente inestables. Como se puede apreciar se evaluaron 6 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

Podemos apreciar que el 95% pertenece a la categoría A (muy inestable), el 2% es de categoría B (medianamente inestable), el 1% es de categoría C (ligeramente inestable) y solo el 2% es de categoría D (neutra), lo cual implica que existe presencia de inversión térmica muy marcada en el año 2018 en las estaciones meteorológicas de la Granja Porcón y Weberbauer.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de Aylambo, posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2018, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 6

Clasificación Pasquill Gifford 2018 WB-AY

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2018 WB-AY							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	1	1	0	6	13	10	0
FEBRERO	2	0	0	8	9	8	1
MARZO	15	1	0	3	10	2	0
ABRIL	9	3	1	6	11	0	0
MAYO	4	3	1	9	11	3	0
DICIEMBRE	0	0	0	4	15	8	4

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2018 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Valle M. y Rodríguez K. 2021)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas más estables. Como se puede apreciar en la siguiente figura se evaluaron 6 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

Se presenta condiciones muy inestables en menor medida lo cual indica que si se tiene presencia de inversión térmica, sin embargo, en la mayoría de los datos recolectados va desde neutra a ligeramente estable. Es decir, de los 6 meses estudiados del año 2018 para las estaciones meteorológicas de Aylambo y Weberbauer se ha determinado que en la categoría de Pasquill Gifford el 17% pertenece a la categoría A (muy Inestable), el 4% pertenece a la categoría B (medianamente inestable), el 1% es de tipo C (ligeramente inestable), el 20% es de categoría D (neutra), el 38% es de tipo E (ligeramente estable), el 17% es F (medianamente inestable) y solo el 3% es de tipo G (muy estable).

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de la Granja Porcón, posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2019, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 7

Clasificación Pasquill Gifford 2019 WB-GP

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2019 WB-GP							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	27	3	1	0	0	0	0
FEBRERO	28	0	0	0	0	0	0
MARZO	30	1	0	0	0	0	0
ABRIL	29	0	1	0	0	0	0
MAYO	29	1	1	0	0	0	0
DICIEMBRE	31	0	0	0	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2019 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Granja Porcón) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Valle M. y Rodríguez K. 2021)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas muy inestables en su mayoría. Se evaluaron 6 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

Se presenta condiciones tipo A (muy inestables) en un 95%, de tipo B (medianamente inestable) en un 3% y tipo C (ligeramente inestable) en un 2%, lo cual indica gran inestabilidad atmosférica en los 6 meses evaluados durante el año 2019 en las estaciones meteorológicas Weberbauer y la Granja Porcón. Por lo tanto, se afirma que tenemos inversión térmica.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación de Aylambo, posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2019, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 8

Clasificación Pasquill Gifford 2019 WB-AY

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2019 WB-AY							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	22	1	0	5	2	0	1
FEBRERO	21	0	0	7	0	0	0
MARZO	29	0	0	2	0	0	0
ABRIL	5	0	0	5	15	5	0
MAYO	5	1	1	9	14	1	0
DICIEMBRE	12	3	0	4	11	1	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2019 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas muy inestables en su mayoría. Se evaluaron 6 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

En la recolección de datos se determinó que el 52% es de tipo A (muy inestable), el 3% es de tipo B (medianamente inestable), 18% de tipo D (neutra), el 23% de tipo E (ligeramente estable) y 4% de tipo F (medianamente estable). Por lo tanto, se afirma que en los 6 meses estudiados en el año 2019 en las estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo el 55% es de tendencia inestable lo cual indica que existe inversión térmica, debido a que no se tiene mucha dispersión de contaminantes atmosféricos ya que en los años anteriores estudiados en su mayoría eran ligeramente estables.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación Granja Porcón, posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, del año 2020, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 9

Clasificación Pasquill Gifford 2020 WB-GP

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2020 WB-GP						
A	B	C	D	E	F	G
MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
ENERO	30	1	0	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2020 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Granja Porcón) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209) y (Valle M. y Rodríguez K. 2021)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas muy inestables en su mayoría. Se evaluó 1 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

Siendo el 97% de tipo A (muy inestable) y 3% de tipo B (medianamente inestable) lo cual implica que no hubo dispersión de contaminantes durante el mes de enero, el fenómeno de inversión térmica estuvo presente durante 30 días.

Se tiene los datos que fueron sistematizados con la finalidad de poder calcular la gradiente vertical para la estación Weberbauer y la estación Aylambo, posterior a ello se obtuvo la clasificación de Pasquill Gifford, tomando en cuenta datos del mes de enero, del año 2020, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 10

Clasificación Pasquill Gifford 2020 WB-AY

CLASIFICACIÓN PASQUILL GIFFORD 2020 WB-AY							
A	B	C	D	E	F	G	
MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE	
ENERO	3	0	0	6	18	4	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2020 (estaciones meteorológicas Weberbauer y Aylambo) para que la tesista procese datos según Correlaciones para estimar la estabilidad Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

La presente tabla muestra la clasificación de Pasquill Gifford la cual fue obtenida mediante los cálculos. Aquí podemos apreciar que efectivamente tenemos condiciones atmosféricas muy inestables en su mayoría. Se evaluó 1 meses del año y fue clasificado según el procesamiento de datos anteriormente mencionado.

En la recolección de estos datos se obtuvo 10% de tipo A (muy inestable), 19% de tipo D (neutra), 58% de tipo E (ligeramente estable) y 13% de tipo F (medianamente estable), lo cual indica que se tuvo presencia de inversión térmica durante 3 días, pero prevaleció la dispersión de contaminantes y se tuvo una tendencia ligeramente estable en su mayoría.

Tabla 11

Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2017

FRECUENCIA DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 2017							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
WB-AYLAMBO 2017	8	3	4	28	81	49	9
WB-GRANJA 2017	165	3	3	4	2	5	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2017, sistematizado por la tesista mediante análisis matemáticos para clasificar datos según Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

Para la elaboración de la presente tabla se sumaron todas las incidencias evaluadas en el año 2017 según la Clasificación de Pasquill Gifford respectivamente en cada una de las estaciones, por consiguiente, podemos apreciar que las estaciones Weberbauer – Aylambo se tiene una tendencia neutra – estable; sin embargo, en el caso de las estaciones Weberbauer – Granja Porcón la tendencia es totalmente opuesta ya que su tendencia es muy inestable con 165 días de inversión térmica.

Tabla 12

Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2018

FRECUENCIA DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 2018							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
WB-AYLAMBO 2018	31	8	2	36	69	31	5
WB-GRANJA 2018	172	4	2	4	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2018, sistematizado por la tesista mediante análisis matemáticos para clasificar datos según Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

Para la elaboración de la presente tabla se sumaron todas las incidencias evaluadas en el año 2018 según la Clasificación de Pasquill Gifford respectivamente en cada una de

las estaciones, por consiguiente, podemos apreciar que las estaciones Weberbauer – Aylambo se tiene 31 días con inversión térmica, pero prevalece la tendencia neutra a medianamente estable; sin embargo, en el caso de las estaciones Weberbauer – Granja Porcón la tendencia es totalmente opuesta ya que su tendencia es muy inestable con 172 días de inversión térmica.

Tabla 13

Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2019

FRECUENCIA DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 2019							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
WB-AYLAMBO 2019	94	5	1	32	42	7	1
WB-GRANJA2019	174	5	3	0	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2019, sistematizado por la tesista mediante análisis matemáticos para clasificar datos según Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

Para la elaboración de la presente tabla se sumaron todas las incidencias evaluadas en el año 2019 según la Clasificación de Pasquill Gifford respectivamente en cada una de las estaciones, por consiguiente, podemos apreciar que las estaciones Weberbauer – Aylambo se tiene una cifra significativa en comparación a los dos años anteriores ya que se tiene 94 días con inversión térmica días con inversión térmica y en una minoría neutra a medianamente estable; sin embargo, en el caso de las estaciones Weberbauer – Granja Porcón la tendencia muy inestable con 174 días de inversión térmica.

Tabla 14
Frecuencia De La Estabilidad Atmosférica 2020

FRECUENCIA DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 2020							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
WB- AYLAMBO 2020	3	0	0	6	18	4	0
WB- GRANJA2020	30	1	0	0	0	0	0

Fuente: Data hidrometeorológica descargada de SENAMHI 2020, sistematizado por la tesista mediante análisis matemáticos para clasificar datos según Pasquill Gifford (Woodward, 1998, p. 209)

Para la elaboración de la presente tabla se tomaron las incidencias evaluadas en enero de 2020 según la Clasificación de Pasquill Gifford respectivamente en cada una de las estaciones, por consiguiente, podemos apreciar que las estaciones Weberbauer – Aylambo se tiene solo 3 días de inestabilidad atmosférica y en su mayoría tendencia neutra – estable; sin embargo, en el caso de las estaciones Weberbauer – Granja Porcón la tendencia es totalmente opuesta ya que su tendencia es muy inestable con 30 días de inversión térmica.

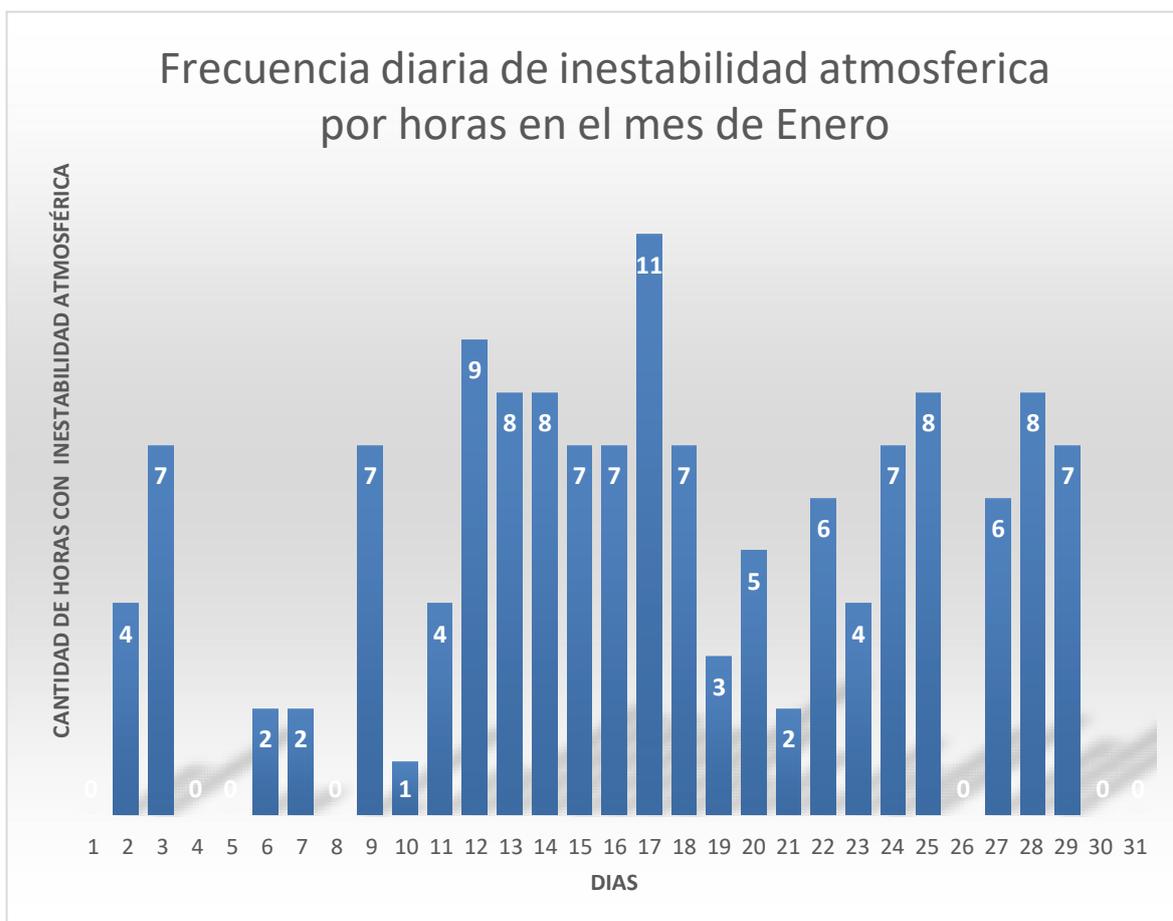


Figura 5 Frecuencia diaria de inestabilidad atmosférica por horas.

En la presente figura se presenta el promedio de la frecuencia que se ha tenido diariamente por horas con inestabilidad atmosférica durante el mes de enero de los 4 años de estudio. Se puede ver que durante los días 4, 5, 8, 26, 30 y 31 se tuvo estabilidad atmosférica neutra; sin embargo, se puede apreciar que el resto de los días presenta un promedio de 6 horas con inestabilidad atmosférica, el día 17 se tuvo 11 horas de inestabilidad lo cual implica que el exceso de contaminación atmosférica afecta directamente la estabilidad atmosférica.



Figura 6 Estabilidad atmosférica 2017 a 2020

La figura 7 presenta la suma total de incidencias sobre la estabilidad atmosférica según la clasificación de Pasquill Gifford durante todo el periodo de estudio, el color rojo representa los datos de las estaciones Weberbauer y Granja Porcón, mientras que el color azul representa los datos de la estación Weberbauer y Aylambo. Como se puede apreciar ambas presentan categoría A muy inestable, pero la cantidad de incidencias es mayor en WB-GP con un total de 541, mientras que en WB-AY es menor con un total de 136, con esto podemos afirmar que existe inestabilidad atmosférica en Cajamarca.

Un dato que se debe tener en cuenta es que en WB-GP predomina la inestabilidad atmosférica en la categoría A, B y C, sin embargo, en la estación WB-AY las categorías

donde se mueve con mayor predominancia es desde D, E, F y G; es decir va de neutra a muy estable.

Tabla 15

Estabilidad atmosférica enero 2017 a enero 2020

ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA 2017-2020							
	A	B	C	D	E	F	G
	MUY INESTABLE	MEDIANAMENTE INESTABLE	LIGERAMENTE INESTABLE	NEUTRA	LIGERAMENTE ESTABLE	MEDIANAMENTE ESTABLE	MUY ESTABLE
wb-aylambo	136	16	7	102	210	91	15
wb-granja	541	13	8	8	2	5	0
TOTAL	677	29	15	110	212	96	15
TOTAL %	58.67 %	2.51 %	1.30 %	9.53 %	18.37 %	8.32 %	1.30 %

En la presente tabla se muestra la suma de todos los incidentes durante el periodo de estudio según su categoría, predominando principalmente la categoría A con un total de 677 siendo 58.67%, en segundo lugar, la categoría E con 212 incidencias siendo 18.37%, la categoría D presentó 9.53%.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El microclima define las condiciones climáticas propias de un punto geográfico o determinada área, representando modificación local del clima general de la región debido a la influencia de distintos factores ecológicos (Barnes et al. 1998). La presencia de cubiertas vegetales y particularmente de cubiertas forestales modifica los parámetros climáticos y crea un microclima cuyas particularidades dependen del clima general y de las características estructurales de la cubierta vegetal (Lee 1978, Aussenac 2000). Debido a la alta acumulación de biomasa y a las dimensiones de los árboles, los bosques tienen una considerable influencia en los intercambios de energía entre la atmósfera y el suelo, actuando la cubierta vegetal sobre el comportamiento de la radiación solar, las precipitaciones, la humedad atmosférica, la temperatura del aire, el viento y la capacidad evaporativa del aire (Aussenac 1997, Barnes et al. 1998, Geiger et al. 2003).

Por lo tanto, por medio de nuestra investigación conocemos que a mayor altura se debe tener menor temperatura, sin embargo en nuestro estudio determinamos que es todo lo contrario, ya que existe mayor inestabilidad atmosférica en la Granja Porcón debido a que el bosque instalado en 12 800 hectáreas aproximadamente genera microclimas tal como lo dice el autor Barnes anteriormente. Estos microclimas mitigan el impacto generado por las actividades industriales de la zona, pero no por completo.

En otras palabras, si con la altura la temperatura disminuye en suficiente proporción, los contaminantes ascenderán con el aire, de acuerdo a ello se irán dispersando, y disminuyendo su concentración, hasta alcanzar la estratosfera, donde los vientos en alturas los diseminan completamente, de manera contraria cuando no hay corrientes ascendentes de aire existe dificultad para que se produzca la dispersión de los contaminantes. Una situación

que se concibe como bastante grave. Sin vientos importantes, temperaturas bajo cero y una gran estabilidad atmosférica no hay dispersión ni dilución de los contaminantes. Benito y Campo, (2004).

Debemos tener en cuenta que la geografía y meteorología de la zona de estudio juega un papel importante debido a que estas dos características pueden explicar el deterioro del aire, es decir, si se tienen montañas o cerros estas limitan que el aire pueda correr y de esta manera puedan movilizarse los contaminantes, entonces se puede afirmar que si el aire no corre de manera adecuada y tenemos baja velocidad de viento, por lo tanto la contaminación generada diariamente no se disipa y da las condiciones propicias para que se dé el efecto de inversión térmica. Debido a los datos recolectados durante el periodo de estudio 2017 a 2020 y a los resultados obtenidos podemos afirmar que la zona de estudio se encuentra predispuesta a este fenómeno ya que la geografía, meteorología y diferencia altitudinal permiten que los contaminantes queden atrapados y no se disipen por lo tanto podemos afirmar que en Cajamarca se tiene presencia muy marcada de inversión térmica, especialmente en los datos correspondientes a la estación Augusto Weberbauer y Granja Porcón.

Debido del análisis realizado para determinar la estabilidad atmosférica en la ciudad de Cajamarca, podemos afirmar que existen peligros ambientales incrementándose, de la misma manera que en el caso de la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG), si bien no cuentan con el mismo relieve, topografía, tienen algunas características similares pues ambos lugares son valles y en ambos lugares se presenta inestabilidad atmosférica. En cuanto a ZMG se tiene duraciones de 1 hora por las noches con este fenómeno, mientras que en la ciudad de Cajamarca la duración es más extensa, se prolonga de 6 a 11 horas entre la 1 y 6 am. En cuanto a la frecuencia de días prevalecieron las noches nubosas y con cielo

despejado, en cuanto al análisis diario se observa una creciente intensificación de temperatura con la altura, lo que nos muestra que existe una intensa inestabilidad atmosférica la cual facilita la concentración de contaminantes atmosféricos en los niveles más cercanos al suelo.

Asimismo, el parque automotor se ha incrementado en gran magnitud, los vehículos no reciben mantenimiento constante lo cual genera que la combustión de estos tenga un alto índice de contaminación incrementando las emisiones de dióxido de carbono y otros gases dañinos para el ambiente.

En relación con la pregunta de ¿De qué manera la clasificación de Pasquill Gifford determina la estabilidad atmosférica en la ciudad Cajamarca en el periodo enero 2017 a enero 2020? La clasificación de Pasquill es un método utilizado para determinar si se tiene estabilidad o inestabilidad atmosférica, en el caso de nuestra investigación logramos determinar que existe inestabilidad atmosférica en un 58.67% durante todo el periodo de estudio y en menor medida se tiene estabilidad neutra a muy estable, lo cual indica que el tema de contaminación atmosférica debe ser reportado a la población para que se tomen medidas a tiempo y no tengamos problemas de salud que terminen convirtiéndose en IRA'S (infecciones respiratorias agudas).

Cajamarca es un departamento que al verse influenciado por la cordillera de los andes tiene dos estaciones muy marcadas, verano e invierno, cabe destacar que en el mes de agosto existe gran cantidad de viento causada por la convergencia de los vientos alisios. Sin embargo, como la ciudad se encuentra en un valle rodeado de cerros estos vientos no circulan y se mantienen estancados junto con los contaminantes. Es por ello que esta estabilidad y ausencia de vientos fuertes generan fuertes inestabilidad atmosférica.

Yarnal, (1993) nos dice que si existe persistencia del fenómeno conocido como inestabilidad atmosférica por más de 4 días seguidos podemos afirmar que existe un estancamiento de contaminantes excedentes para que fluyan de manera constante. Lo cual se ve reflejado en los resultados de la Figura 6 pues desde el día 9 de enero al 25 de enero se tuvo inestabilidad atmosférica diaria.

Podemos decir que la relación es significativa ya que los resultados analizados demuestran la presencia de inestabilidad atmosférica la cual ha sido generada debido al incremento de actividades antropogénicas que generan mayor cantidad de emisiones atmosféricas dentro de las cuales el parque automotor es una de las principales ya que actualmente han llegado gran cantidad de vehículos chinos que han sido adquiridos por la población cajamarquina los cuales generan un mayor incremento de quema de combustible, por otro lado la gran cantidad de pollerías que se encuentran extendidas en todo el distrito de Cajamarca, muchas de las cuales no tienen las chimeneas a una altitud adecuada, así como no se tiene inspecciones constantes de la cantidad de emisiones liberadas. Finalmente, una de las actividades que sigue creciendo es el de las ladrilleras, puesto que no se inspecciones en este sector ni una normativa que regule dicha actividad, la cual genera grandes emisiones y más adelante puede generar infecciones respiratorias agudas a las personas que viven aledañas a estos lugares donde se practica esta actividad.

Durante el desarrollo de esta investigación, se presentaron una serie de limitaciones que dificultaron el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos, dentro de ellos destacan:

- Falta de información de datos hidrometeorológicos, debido a que las estaciones meteorológicas estudiadas no tenían toda la data completa por ello solo se trabajó de enero de 2017 a enero 2020.

- Falta de antecedentes locales y nacionales que nos permita realizar una investigación y comparación más amplia.
- Falta de estudios previos de inversión térmica, estabilidad atmosférica en Cajamarca.

4.2. Conclusiones

- ✓ Respecto al objetivo general se logró clasificar según Pasquill Gifford la estabilidad atmosférica en Cajamarca durante el periodo de enero 2017 a enero 2020.
- ✓ Se logró comparar los datos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, la estación meteorológica de Aylambo y la estación de La Granja Porcón.
- ✓ Se logró determinar la gradiente vertical bajo la diferencia de temperaturas y altitud de las estaciones meteorológicas.
- ✓ Se logró clasificar los datos de las estaciones meteorológicas según parámetros para el cálculo de Pasquill Gifford

Después de un análisis exhaustivo desde el periodo 2017 al 2020 en las estaciones meteorológicas de Aylambo, Augusto Weberbauer y Granja Porcón, podemos concluir que las diferencias altitudinales tienen gran influencia para la estabilidad atmosférica, por consiguiente, es claro que en Cajamarca contamos con presencia muy marcada de inestabilidad atmosférica sobre todo en la estación de La Granja Porcón, y en menor medida en la estación Aylambo.

De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación, la inestabilidad atmosférica durante la época de lluvias es menor debido a que dichas precipitaciones atrapan los contaminantes y los llevan al suelo limpiando de manera natural la contaminación

atmosférica, se debe tener en cuenta que inestabilidad atmosférica da lugar a la inversión térmica intensa.

La concentración de contaminantes desencadena problemática ambiental la cual repercute en la salud de todo ser vivo, especialmente en los humanos. Cabe destacar que una de las fuentes de mayor emisión de contaminantes es el parque automotor de medios de transporte públicos y privados los cuales son vistos como negocio sin importar la consecuencia para las futuras generaciones. Por ello es un reto aplicar soluciones que mitiguen los problemas ambientales generados por este sector.

Un punto importante es que el estado no reporta de manera constante los datos referidos a contaminación atmosférica, solo lo hace cada cierto tiempo, tomando medidas drásticas cuando ya ha sido respirada toda la contaminación atmosférica que sobrepasa los Estándares de Calidad del Aire y Límites Máximos Permisibles de emisiones por parte del parque automotor y fábricas industriales entre otros sectores.

Por ello se debe tomar medidas de prevención con anticipación y poner en acción planes de contingencia para controlar adecuadamente este problema. La población se encuentra expuesta a los contaminantes en el aire.

Finalmente debemos tener en cuenta que la ciudad de Cajamarca ha crecido de manera acelerada sin un determinado plan de ordenamiento territorial, lo cual implica que los puntos de monitoreo anteriormente mencionados son insuficientes para cubrir adecuadamente el área de estudio. Espero que el presente estudio sea de utilidad y sirva como base para futuras investigaciones en este sector.

Se recomienda tener en cuenta este estudio para futuras investigaciones donde se pueda demostrar la inversión térmica así como la estabilidad atmosférica. Por ende, incito a las autoridades locales a fiscalizar el sector de transporte, brindar asesoría y capacitación

sobre este problema ambiental y la repercusión que ocasiona en la salud de
la comunidad cajamarquina.

REFERENCIAS

- Aussenac G. 1997. Interactions between climates and forests at the local, regional, and global levels. In Birot Y ed. Sustainable forest management: Contribution of research. Zvolen, Slovakia. Arbora Publishers spol. s.r.o. p. 1-16. (IUFRO Occasional Paper N° 9).
- Aussenac G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* 57: 287-301.
- Barnes BV, DR Zak, SR Denton, SH Spurr. 1998. Forest ecology. 4 ed. New York, USA. John Wiley. 774 p.
- Bedoya, J., & Martines, E. (2008). CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ. Scielo, 1-9.
- Beljaars, A. (1992). The parametrization of the planetary boundary layer. Lecture Series. ECMWF. 73 pp.
- Chachapoya, M. (2015). "Valoración de la Campaña de Monitoreo Pasivo De Gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sSistema de calidad de Aire de la Ciudad".
- Escamilla, M. (2010). Aplicacion basica de los metodos cienificos . Universidad Autonoma del estado de Hidalgo.
- Franco R, J. F. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. *Revista EAN*(72).
- Gallego Pico , A., Gonzales Fernandez , I., Sánchez Gimeno, B., Fernandez Hernando, P., Garcinuño Martinez, R., Bravo Yagüe, J. C., . . . Durand Alegría, J. (2012). Contaminación atmosférica. España: UNED (Universidad Nacional de Educacion a Distancia).
- Garcia Rosique, R. M. (2010). Factores de riesgo de morbilidad y mortalidad por infecciones respiratorias agudas en niños menores de 5 años. *Revista Medica Electrónica*.
- Garcia V., J., & J.T. (2008). "Evaluación del grado de contaminación del aire en el Centro Histórico de Lima". *ANALES CIENTIFICOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MOLINA*, 1-11.
- Garcia, M. (2012). Las Inversion Térmica y polución en la ZMG.
- Geiger R, RH Aron, P Todhunter. 2003. The climate near the ground. 6 ed. Lanham, USA. Rowman & Littlefield Publishers. 584 p.

- González, I. F.-C. (2011). *Revisión sistemática bases para interpretación*.
- Goris, G. &. (2015). *Utilidad y tipos de revisión de literatura*.
- Glynn. J & Heinke W., (1999), *Ingeniería ambiental*. México D.F., México: PRENTICE HALL.
- Huatuco, R., & Romero, A. (2011). *Contaminacion del Aire por Material Particulado en la Ciudad Universitaria - UNMSM*. LIMA: Proyecto Libro Digital.
- IDEAM (2012) 'Nota técnica sobre heladas'.
- IDEAM (2016) 'Informe del estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015', Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, p. 195.
- Lazaride, M., 2011: *First Principles of Meteorology and Air Pollution*. Technical University of Crete, Department of Environmental Engineering, Polytechniupolis, Greece. 362pp
- Leiva, P. (2019). *Inversión Térmica, meso meteorología aplicada a la reducción de deriva en pulverizaciones aéreas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Valle M. Rodríguez K.(2021). *Impacto de las partículas atmosféricas sedimentables sobre la salud poblacional (IRAs) en las vías sin pavimentación del Centro Poblado La Victoria, distrito de Llacanora - Provincia de Cajamarca 2021*. Universidad Privada del Norte
- Martín, A. (2004). *Apuntes de transmisión del calor*. Creative Commons. Madrid, España.
- Minam (2012). *Glosario de términos para Gestión Ambiental Peruana*. Dirección general de políticas, normas e instrumentos de Gestión Ambiental. Lima
- Molina L. T., Molina M. J. (2005): *El aire en la megaciudad de México. Un enfoque integral*. Fondo de Cultura Económica, 2005. 463 páginas.México
- Plate E. *Ingeniería de Meteorología*. Elsevier Scientific Publishing Company.1982.
- Pérez Rodriguez, F. G., & Rodas Monsefú, N. (2017). Repositorio UPN. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10698/P%c3%a9rez%20Rodr%c3%adguez%2c%20Fanny%20Guadalupe%20-%20Rodas%20Monsefu%2c%20Nancy%20Jhoany.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ramírez, H., Andrade, M., González, M., Celis, A. (2006): «Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco», en Salud Pública de México. vol. 48, núm. 005, pp. 385-394.
- Ramos, M., Ramos, M., & Romero, E. (2003). COMO ESCRIBIR UN ARTÍCULO DE REVISIÓN. Revista de postgrado de la VIa Catedra de Medicina.
- Rodríguez, D et al. Estudio de variables meteorológicas secundarias que intervienen en la difusión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río. Revista Cubana de Meteorología, v. 18, n. 1, p.35- 50, 2012a.
- Rodriguez Villamizar, L. A., Herrera López , A. B., Castro Ortiz, H., & Niederbacher Velázquez, J. (2013). Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. Cadernos de Saúde Pública, Colombia.
- Rubio Liniers, C. (2004). EL ANÁLISIS DOCUMENTAL: INDIZACIÓN Y RESUMEN. Santa Cruz A., Difusion de contaminantes gaseosos en la atmosfera. Universidad Tecnologica Nacional (UTN). Rosario – Argentina. 2000.
- Sampieri, R. H. (2016). Metodología de la investigación (Vol. 6). México, DF.
- SENAMHI. (2012). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú . Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-4.pdf>
- Tyler, N. et al. (2013) ‘Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia’, Universidad de los Andes, p. 35.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO. Revista Médica Clínica Las Condes.
- Vicuña, R. Evaluación de la altura de la capa de mezcla Atmosférica como un parámetro para calcular la dispersión de los contaminantes en la provincia de Coronel Portillo – Ucayali, 2017.
- Valle, M. & Rodríguez, K.(2021) “Impacto de las Partículas Atmosféricas Sedimentables sobre la salud poblacional (Iras) en las vías sin pavimentación del Centro Poblado La Victoria, Distrito De Llacanora- Provincia De Cajamarca 2021”.
- Vasquez H., I. (s.f.). Tipos de estudio y metodos de investigacion.

YARNAL, B. (1993): Synoptic climatology in environmental analysis. A
primer. London, Belhaven Press, 200 pp.