

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN GEOESPACIAL DE
CONTAMINANTES DE LOS GASES NO_x, CO, SO₂ Y
PARTÍCULAS (PM₁₀) EMITIDOS POR POLLERÍAS DE LA
CIUDAD DE CHOTA AÑO 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

German Humberto Abanto Cordova
Nelida Bercella Villoslada Hernandez

Asesor:

Mg. Julián Ricardo Díaz Ruiz

Cajamarca - Perú

2022



DEDICATORIA

A Dios, por enseñarme que en el camino de la vida podemos superar todos los obstáculos si tenemos confianza y fe en él.

Un especial agradecimiento a mis padres por su incondicional amor, su comprensión, apoyo y dedicación y a personas especiales en mi vida porque con un granito de arena contribuyeron que poco a poco cumpla cada una de mis metas, a mis amigos quienes siempre me incentivaron a terminar la carrera.

Así mismo agradezco a mi casa superior de estudios la Universidad Privada del Norte y mis docentes quienes han hecho de mí una profesional que ha de contribuir a la mejora de una sociedad, más equitativa.

Nélida Bercella Villoslada Hernández

A mis dos pequeños hijos quienes son el sentido principal de mi vida y la motivación para seguir esforzándome hasta cumplir mis diferentes metas y objetivos

A mis familiares, quienes con su apoyo moral supieron darme su valioso aliento para continuar firme y decidido en el anhelo por lograr mi objetivo en de terminar esta valiosa carrera.

A mis docentes en la Universidad Privada del Norte quienes me impartieron significativos conocimientos los que me serán de mucha utilidad para mi formación profesional.

German Humberto Abanto Córdova

AGRADECIMIENTO

A Dios, por estar siempre conmigo, por bendecirme y guiarme para llegar hasta donde he llegado y por hacer realidad este sueño anhelado.

Así mismo a mi familia, muy en especial a mis padres, mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional, por haber sufrido con paciencia hasta el final de esta etapa y a los docentes de la Universidad Privada del Norte por su apoyo y sus enseñanzas durante el periodo de mi carrera.

Al Ing. Agrónomo Luis Miguel Tarrillo Vásquez por su valioso conocimiento en cuanto a Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Nélida Bercella Villoslada Hernández

A Dios por darme la fortaleza para día a día asumir los compromisos y responsabilidades que demanda para hacer realidad este anhelado objetivo.

Del mismo modo a mis familiares y amigos por su apoyo moral, también a la Universidad Privada del Norte y a los docentes de la carrera quienes con la impartición de sus valiosos conocimientos han contribuido significativamente a mi formación profesional.

German Humberto Abanto Córdova

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Antecedentes.....	10
1.3. Concentración de los contaminantes en el aire.....	14
1.4. Material particulado (PM)	15
1.5. Monóxido De Carbono (CO)	16
1.6. Dióxido de azufre (SO ₂).....	17
1.7. Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	17
1.8. Modelo Gaussiano de dispersión.....	27
1.9. Formulación del problema.....	31
1.9.1. Problema general.....	31
1.10. Objetivos	32
1.11. Hipótesis.....	32
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	33
2.1. Tipo de investigación.....	33
2.2. Población y muestra.....	33
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	33
2.4. Procedimiento.....	35
CAPÍTULO III. RESULTADOS	39
3.1. Área de estudio.....	39
3.2. Dispersión de contaminantes por la combustión del carbón en las chimeneas de las pollerías de la ciudad de Chota.....	46
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	54
4.2. Conclusiones.....	56
REFERENCIAS	57
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Características generales de las principales pollerías de la ciudad de Chota</i>	40
Tabla 2	<i>Características meteorológicas de la ciudad de Chota</i>	40
Tabla 3	<i>Datos meteorológicos de la ciudad de Chota</i>	41
Tabla 4	<i>Valores de I, J, K para σ_y en función de la distancia a nivel de piso</i>	45
Tabla 5	<i>Valores de I, J, K para σ_z en función de la distancia a nivel de piso</i>	46
Tabla 6	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-CC</i>	47
Tabla 7	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-N</i>	48
Tabla 8	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-TR</i>	49
Tabla 9	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-P</i>	50
Tabla 10	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-L</i>	51
Tabla 11	<i>Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea del PR-SP</i>	52
Tabla 12	<i>Análisis comparativo de los niveles de dispersión de contaminantes</i>	53
Tabla 13	<i>Concentración de contaminantes tomadas de ráster del satélite Giovanni</i>	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Interfaz de inicio</i>	20
Figura 2 <i>Interfaz de fecha</i>	21
Figura 3 <i>Delimitación del ámbito</i>	22
Figura 4 <i>Delimitación de ámbito de estudio</i>	22
Figura 5 <i>Lista de gases</i>	23
Figura 6 <i>Suavizado de pixeles</i>	25
Figura 7 <i>Tratamiento final de un ráster</i>	26
Figura. 8 <i>Modelo de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva, H</i>	28
Figura. 9 <i>Efecto de reflexión del suelo</i>	30
Figura 10 <i>Flujograma sobre la aplicación del modelo gaussiano</i>	37
Figura 11. <i>Interfaz del satélite GIOVANNI, con una lista de datos de NOX, CO, SO2, PM10</i>	38
Figura 12 <i>Identificación de las principales pollerías a través de Imágenes Lansat</i>	39
Figura 13 <i>Concentración de CO de ráster tomado del satélite Giovanni</i>	42
Figura 14 <i>Concentración de NO de ráster tomado del satélite Giovanni</i>	42
Figura 15 <i>Concentración de SO₂ de ráster tomado del satélite Giovanni</i>	43
Figura 16 <i>Concentración de PM₁₀ de ráster tomado del satélite Giovanni</i>	43
Figura 17 <i>Determinación de distancias euclidianas para determinar valores de x e y</i>	44
Figura 18 <i>Modelo de dispersión de contaminantes esquema de la formula a través de ArcGIS</i>	44
Figura 19 <i>Asignación de valores en el modelo Gaussiano</i>	45
Figura 20 <i>Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-CC -modelo de gauss</i>	47
Figura 21. <i>Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-N.-modelo de Gauss</i>	48
Figura 22 <i>Dispersión de contaminantes en la PR-TR.-modelo de Gauss.</i>	49
Figura 23 <i>Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-P modelo de Gauss</i>	50
Figura 24 <i>Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-L –modelo de Gauss</i>	51
Figura 25 <i>Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-SP.-modelo de Gauss</i>	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. <i>Dispersión sin efecto de reflexión del suelo</i>	29
Ecuación 2. <i>Reflexión del suelo de los contaminantes</i>	30
Ecuación 3. <i>Fórmula simplificada para la reflexión de suelo</i>	30
Ecuación 4. <i>Formula de modelamiento SIG dispersión de contaminantes gauss</i>	31

RESUMEN

La presente investigación se realizó planteándose como objetivo general, Determinar la concentración de los gases NO_x, CO, PM₁₀, SO₂ en chimeneas de 6 pollerías de la ciudad de Chota a través de Imágenes satelitales del geoservidor Giovanni y la dispersión de los mismos por el método de dispersión Gaussiano a través del análisis geoespacial, la investigación fue de tipo, no experimental, descriptiva, transversal. Para ello se ha realizado una revisión sistemática sobre el análisis de la dispersión de contaminantes. La búsqueda se realizó en mayo del 2020 en las siguientes bases: Scielo, Scopus y Google académico, la información geoespacial en bases como: GORE-ZEE, INGEMET, USGS. Se procesaron los datos a través del software ArcGIS 10.8, satélite Giovanni de la NASA teniendo como puntos de monitoreo las pollerías de la ciudad de Chota obteniéndose datos de niveles de dispersión de contaminantes en los niveles alto, medio y bajo; corresponden para: pollerías Nilos, súper pollón, tío rocky, promedios altos de 644.625, 273.3 y 250.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente por su parte los restaurantes con menor dispersión de contaminantes son pollería el pechugón, pollería leito y copa Cabana. Con 175.89, 208.5 y 128.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dispersión de contaminantes respectivamente, por su parte dichas las concentraciones de gases. Respecto al NO_x (NO y NO₂), para la pollería Nilos 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO y 482 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO₂ para las pollerías Nilos y Tío Rocky; CO 22000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pollería Tío Rocky, PM₁₀ 197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la pollería copa Cabana.

Palabras clave: ArcGIS, dispersión, pollerías, contaminantes, SIG

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se aborda la temática de la contaminación atmosférica y se considera la concentración de contaminantes como un indicador ambiental, por lo tanto, su monitoreo y determinación resulta una herramienta indispensable para conocer la calidad de aire. Los modelos de calidad de aire son utilizados para simular los procesos físicos y químicos de la atmósfera. Por lo tanto, el modelo de dispersión gaussiano es de gran aplicación y la ecuación que lo sustenta se utiliza en este trabajo para calcular los niveles de dispersión de contaminantes. Algunos parámetros de la ecuación gaussiana son estimados. Mediante el software ArcGIS 10.8, y se determinan las concentraciones de las mismas con ayuda de teledetección. Es por ello que el desarrollo de la presente investigación nace ante la necesidad de identificar las zonas vulnerables por la emisión de contaminantes de las chimeneas. En el ámbito urbano de la ciudad de Chota a través monitoreo geoespacial de las principales fuentes de emisión, para lo cual se elaboró el “Modelamiento de dispersión de contaminantes mediante la Aplicación del Modelo Gaussiano para determinar la zona vulnerable del sector urbano debido a la emisión de contaminantes por las chimeneas de las pollerías”; con la cual podemos estimar sus concentraciones por punto emisor y espacio determinado a tres niveles alto medio y bajo.

1.1. Realidad problemática

En el Perú, el crecimiento poblacional e industrial, ha desencadenado la liberación de contaminantes al aire y gases que alteran la calidad del mismo, afectando la salud de la población expuesta, produciendo daños en el ambiente (flora, fauna y ecosistemas). En los ambientes urbanos la contaminación del aire es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, el transporte, la generación de energía, el proceso industrial, la

utilización de combustible de mala calidad, la capacidad limitada de gestión de la calidad de aire, etc.

Green & Sánchez (2013) Con el propósito de aportar conocimiento relevante sobre problemas relacionados a la calidad de aire el presente trabajo propone la aplicación del modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes con base a contaminantes en sus niveles alto, medio, bajo, en tal sentido se simulará la dispersión de los contaminantes en el aire generados por las pollerías de la ciudad de Chota año 2020. Además, dicho estudio servirá a las instituciones, como referencia para tomar medidas de prevención, en la gestión ambiental de la calidad de aire; con el objetivo de lograr un equilibrio ambiental y no afectar la salud de la población. (p.23)

1.2. Antecedentes.

Durante la revisión bibliográfica se evidencio la falta de documentación relacionada al análisis de la dispersión de contaminantes emitidos por restaurantes de la ciudad de Chota, por tal motivo se ha tomado como referencia de modelos de investigación de ámbito nacional e internacional. Dentro de los que destacan:

Internacional

Astudillo (2012), en la tesis “estudio de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca” sostuvo el análisis de la dispersión de contaminantes es fundamental para aquellos investigadores que se dedican al estudio y evaluación de la calidad de aire. Dicha dispersión está determinada por una serie de factores que influyen en mayor o menor medida. En el caso de la ciudad de Cuenca, el hecho de contar con calles angostas que constituyen más bien corredores en el centro histórico probablemente no permite una rápida dispersión, mientras que zonas abiertas con amplia ventilación, favorecerán la migración de

contaminantes. Estos hechos se evidencian en los mapas de dispersión que se han elaborado para los diversos contaminantes.

Aguilar (2017) en su tesis Calidad de aire en Bogotá: ausencia de información y captura de dato en el 2015 el cual determino con las ausencias de información se pudo lograr analizar un área total de 105 KM² en la cual se determinó un Indicador de Calidad por Área (INCA) lo que facilito el análisis de los datos agrupados por contaminantes, esto gracias a la realización de un Sistema de Información Geográfico (SIG) que dio como resultado las áreas de mayor concentración de contaminantes que afectan la calidad del aire por dispersión.

Nacional.

Iparraguirre (2016) en su tesis “formulación de propuesta de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú” a través de una muestra de la emisión de gases producto de la combustión del carbón en tres pollerías concluye que las emisiones de gases de combustión procedentes de las chimeneas de hornos de pollos a la brasa q utiliza el carbón vegetal en la ciudad de Trujillo contiene un promedio de 12.58% de CO₂ 13.90% de compuestos volátiles, 8.11% de cenizas volantes y 56.00% de nitrógeno.

Mauricio & Murga (2015) en su tesis "Empleo de un modelo gaussiano para estimar las concentraciones máximas a nivel del suelo de CO, NO_x, PM₁₀ Y SO₂ emitidas por las chimeneas de los calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A. - 2014" plantenadoce como objetivo: Estimar la concentración máxima a nivel del suelo de CO, NO_x y PM₁₀, y SO₂, con los resultados obtenidos mediante el SCREEN3 a la hora de modelación, se comprueba que con el modelo gaussiano se pueden obtener resultados estacionarios, para un determinado tiempo de modelación. De los Perfiles de máxima concentración del contaminante, CO, NO_x, PMIO y SO₂, a nivel del suelo para la fuente emisora, la Chimenea Representativa a las

Chimeneas de los Calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A., al compararlos con los LMPs, para los diferentes tiempos de modelación, se aprecia que las situaciones críticas se reportaron para algunos contaminantes, NO_x y SO₂, en el 0 y 40 Monitoreo y en las En los Mapas de isolíneas de máxima concentración del contaminante, CO, NO_x, PM₁₀ y SO₂, a nivel del suelo para la fuente emisora, la Chimenea Representativa a las Chimeneas de los Calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A. se aprecia que el Sector El Ingenio y los campos al Norte de este reciben la mayor impactación de los contaminantes emitidos por Cartavio S.A.A. Asimismo, se observa que los 2000 3000 m existe una zona con una adecuada dispersión de contaminantes.

Cruz (2018). Determinación de la dispersión geográfica de los gases NO_x, CO, SO₂ y partículas (PM₁₀), emitidos por una central térmica aplicando el modelo Aermod planteándose como objetivo Determinar la distribución geográfica de los gases NO_x, CO, SO₂ y partículas (PM₁₀), vertidos en la atmósfera por las actividades de la central térmica mediante la herramienta AERMOD para conocer los sitios que tengan mayor riesgo potencial de verse afectado por las emisiones de la organización. Las mediciones de los gases de emisión (NO_x y CO), se efectuaron en base al principio de celdas electroquímicas de acuerdo a la directriz CTM-030 - Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide, and Oxygen Emissions from Natural Gas-Fired Engines, Boilers and Process Heaters Using Portable Analyzers de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), utilizándose el analizador de gases de combustión marca TESTO 350. Concluyendo El estudio realizado en la chimenea TG-34, se obtuvieron concentraciones de NO_x, SO₂, CO y de partículas (PM₁₀) por debajo de los límites máximos permisibles (NO_x = 125 mg/Nm³ y PM₁₀ = 50 mg/Nm³) establecidos por el Banco Mundial en junio de 1998, en el Manual de Prevención y Control de la Contaminación (Guía para Plantas Térmicas).

Local.

Juárez & Osorio (2018) en su tesis Modelamiento de la dispersión del plomo en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca, en los años, 2015 - 2017” planteándose como objetivo determinar la concentración de plomo atmosférico en la ciudad de Cajamarca para ello se usó de un modelo Urbano/ Regional, utilizando la integración de modelos y bases de datos, se ha trabajado con los datos de monitoreo de concentración de plomo de los años 2015, 2016 y 2017, brindados por la Sub Gerencia de Protección y Control Ambiental de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, y los datos históricos meteorológicos brindados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), con los cuales nos ha permitido elaborar un modelo de dispersión de la concentración de plomo atmosférico y la dirección a la que se mueve al nivel del suelo. Se analizó si existe una relación entre el plomo y el comportamiento del viento en los años antes mencionados, en este análisis se aplicó métodos estadísticos para encontrar el promedio diario/anual, las direcciones del viento y su velocidad; lo que se identificó si existía algún tipo de dirección predominante. Por lo tanto, el viento influye directamente en la dispersión y concentración de Plomo en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca; la relación que tienen la velocidad del viento y la concentración de Plomo es inversamente proporcional puesto que a menor velocidad del viento es mayor la concentración, mientras que la relación con la dispersión es directamente proporcional puesto que a mayor velocidad existe una mayor dispersión. Se analizó que el promedio anual de los Estándares de Calidad Ambiental es de 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los parámetros estudiados no sobrepasan los promedios anuales y están por debajo de los LMP.

Camacho & Villegas (2017) en su tesis análisis de la relación entre el comportamiento del viento y la concentración de material particulado PM₁₀ del Año 2012 al 2015 en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca” con el objetivo analizó la relación existente entre el

PM₁₀ (material particulado menor a 10 micras) y el comportamiento del viento desde el año 2012 hasta el año 2015 para llevar a cabo este análisis se aplicaron métodos estadísticos como la media para encontrar el viento resultante promedio, la dirección resultante, el viento promedio y la persistencia; lo cual nos permitió identificar la existencia o no de una dirección predominante. Los datos de PM₁₀ se agruparon en intervalos según su concentración de manera anual y global para realizar esto se aplicó la regla de Sturges y se construyeron tablas de frecuencia, según los intervalos establecidos se realizaron las rosas de viento en el software WRPLOP View Versión 7.0.0, para observar la relación existente entre las variables, además, se compararon los resultados de concentración de PM₁₀ con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire El resultado obtenido fue que el viento influye directamente en la dispersión y concentración de PM₁₀ en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca; la relación que tienen la velocidad del viento y la concentración de PM₁₀ es inversamente proporcional puesto que a menor velocidad del viento es mayor la concentración, mientras que la relación con la dispersión es directamente proporcional puesto que a mayor velocidad existe una mayor dispersión.

Bases Teóricas.

1.3. Concentración de los contaminantes en el aire

Inche (2008) menciona la concentración de los contaminantes atmosféricos suele expresarse en 3 tipos de unidades: la primera, empleada para contaminantes gaseosos, es las partes por millón en volumen (ppm). Algunas veces, las concentraciones se expresan también en partes por mil millones (ppb). La segunda unidad de concentración 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 (p.64).

En los ambientes urbanos la contaminación del aire es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, el transporte, la generación de energía, el proceso industrial, la utilización de combustible de mala calidad, la capacidad limitada de gestión de la calidad de aire, etc. (Green y Sánchez, 2013, p.2)

1.4. Material particulado (PM)

Según la Arenas (2017), PM significa materia particulada, el término se utiliza para una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Las partículas menores de 10µm tienden a formar suspensiones mecánicamente estables en el aire, permaneciendo en la atmósfera durante prolongados períodos de tiempo, pudiendo ser trasladados a grandes distancias por la acción del viento. El material particulado incluye entonces, PM₁₀ que son partículas inhalables, con diámetros generalmente de 10 micrómetros y más pequeños; y PM_{2.5} que abracan partículas finas inhalables, con diámetros que generalmente son 2.5 micrómetros y más pequeños. Estos provienen en su mayoría del uso de combustibles fósiles que contienen azufre y de los oxidantes fotoquímicos formados en la atmósfera por reacciones químicas complejas entre los HC, óxidos de nitrógeno (NO_x) y CO. Las fuentes móviles contribuyen con un 50% o más en las concentraciones de material particulado en las áreas urbanas (p.29).

Sánchez de la Campa & De la Rosa (2009). El material particulado, tiene efecto sobre los ecosistemas, las partículas atmosféricas alteran la cantidad de radiación solar transmitida a través de la atmósfera terrestre. La absorción de radiación solar por partículas atmosféricas junto a la captura de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre por parte de ciertos gases, intensifica el calentamiento de la superficie terrestre y la baja atmósfera, es el conocido efecto invernadero. Los efectos producidos por el material particulado, incluye la alteración de la cantidad de radiación ultravioleta procedente del Sol que llega a alcanzar la superficie

terrestre lo que puede ejercer efectos en la salud humana, la biota y otros componentes ambientales (p.18).

1.5. Monóxido De Carbono (CO)

Inche (2008) Es un gas incoloro, inodoro y ligeramente más denso que el aire, es emitido por fuentes naturales y antropogénica. Las fuentes antropogénica forman CO a partir de la combustión incompleta de combustibles carbonáceos en vehículos, sistema de calefacción, hornos, plantas de generación de energía térmica e incineradores. La conversión de CO a CO₂ en la atmósfera es lenta y tarda de 2 a 5 meses. En los centros urbanos de América Latina, los vehículos generan entre 60 y el 90% de las emisiones del CO (p.26).

Se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión Moragues (2014). En concentraciones elevadas puede ser letal, donde la fuente antropogénica del CO es la combustión incompleta de combustibles (gasolina, gas, carbón, madera, etc.). En este sentido, para tener menos emisiones de CO es necesario tener procesos de combustión más completos, lo que requiere de una cantidad adecuada de oxígeno; cuando este es insuficiente, se forma del CO (USEPA, 1995). CRANA (2018), Centro de Recursos Ambientales de Navarra, nos dice que el CO es el contaminante del aire más abundante y ampliamente distribuido de los que se encuentran en la capa inferior de la atmósfera, denominada troposfera, su principal origen natural es la oxidación del CH₄ y, puesto que todo el metano de la atmósfera se produce por descomposición anaerobia de la materia orgánica, cabe afirmar que estos procesos constituyen una fuente natural de CO. El gas generador se forma por la combustión del carbón con oxígeno a elevadas temperaturas, la reacción es: $O_2 + 2C \leftrightarrow 2CO$ (p.24).

1.6. Dióxido de azufre (SO₂)

El azufre puede ser conducido muy rápidamente a la atmósfera en estado oxidado, en forma de SO₂, originado por combustión de carburantes fósiles como es el caso del carbón el cual puede tener hasta un 3% de azufre llegando a ser de esta manera una fuente de contaminación del aire Spedding (2012). El dióxido de azufre es un gas no inflamable que consiste en un átomo de azufre y dos de oxígeno. Es uno de los contaminantes primarios mayoritarios en la atmósfera donde se combina fácilmente con el agua y da lugar al ácido sulfúrico (lluvia ácida). Las erupciones volcánicas representan una fuente natural de SO₂ en la atmósfera; sin embargo, el problema real asociado con la generación de ácido sulfúrico es la producción antropogénica originada en la ignición de combustibles fósiles (p.19)

Galván (2009). El SO₂ es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo). La principal fuente antropogénica del SO₂ es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor. Se genera por oxidación del azufre contenido en los combustibles al quemarse estos Tanto el carbón como el petróleo que se queman contienen azufre como impureza, cuya oxidación produce este dióxido de azufre: $S + O_2 \rightarrow SO_2$. El SO₂ es de una sustancia reductora que con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad se convierte en trióxido de azufre. La velocidad de esta reacción en condiciones normales es baja (p.20).

1.7. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El nitrógeno es el elemento más común del aire que respiramos (78 %), y conforma un grupo de óxidos como el óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂); el primero es relativamente inofensivo, pero el segundo puede causar efectos adversos en la salud y

bienestar MINAM (2014). El NO es oxidado formando dióxido de nitrógeno (NO₂), ($2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$). El NO₂ no sólo es tóxico, sino también corrosivo y altamente oxidante. Pequeña cantidad de NO₂, usualmente menor que décimas por ciento, son formadas 21 directamente durante la combustión a temperatura elevada. Menos del 10 % del NO₂ se forma por oxidación directa del NO en el corto intervalo entre la eyección de NO como un producto de la combustión y el tiempo en que este diluye su concentración debajo de 1 ppm. La mayoría del NO₂ que se encuentra en la atmósfera resulta por la oxidación del NO en presencia de luz solar, ozono e hidrocarburos. Aún en la ausencia de luz solar, se continúa formando el NO₂ a partir del NO por acción del ozono, hasta que el aporte del O₃ se agota.

Moragues (2014). La principal fuente antropogénica es la quema de combustibles fósiles. En presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta se convierte, mediante reacciones fotoquímicas, en NO₂ (O₃) (Sbarato, 2006), siendo la principal fuente de ozono troposférico (precursor de O₃) y de aerosoles de nitratos que constituyen una fracción importante de la masa de Material Particulado del aire. Al igual que el SO₂ contribuye en la formación de la lluvia ácida (ácido nítrico), con los subsecuentes efectos adversos para el ambiente, vida animal e infraestructura

Contaminantes

“Fenómenos físicos, sustancias u elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como producto de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas” (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010 p. 29).

Control de contaminantes.

Según la guía de buenas prácticas ambientales para producción de pollos al brasa-municipalidad provincial de Arequipa plantea:

- Mediante un mejor diseño del horno, la recolección de grasas de los pollos al momento de la combustión, se puede reducir hasta en tres veces las actuales emisiones que generan las pollerías.
- Las chimeneas deben sobresalir del techo o casa de los vecinos para evitar la dispersión de contaminantes o que el aire interior entre en contacto directo con las personas que habitan alrededor.
- Las chimeneas deben contar de preferencia con filtros o extractores con filtro de manera tal que se disminuyan las emisiones a la atmósfera.

Geo servidor Giovanni.

Giovanni es un entorno en línea (web) para la visualización y análisis de parámetros geofísicos en los que se puede acceder fácilmente a la procedencia (linaje de datos). Es la interface web de la NASA que provee información de varios satélites para todas las zonas del mundo. Los datos ya están procesados y pueden ser descargados en una escala requerida. Este artículo muestra los principales datos disponibles y las herramientas para el análisis y la descarga de datos del servidor NASA Giovanni.

Para recibir un nombre de usuario y una contraseña de Earthdata Login, visite la página de inicio de sesión de Earthdata y haga clic en el botón "REGISTRO". La interfaz de usuario de Giovanni Con la interfaz de usuario de Giovanni, es posible encontrar y mostrar fácilmente los datos seleccionados en varios tipos de parcelas. También es posible descargar

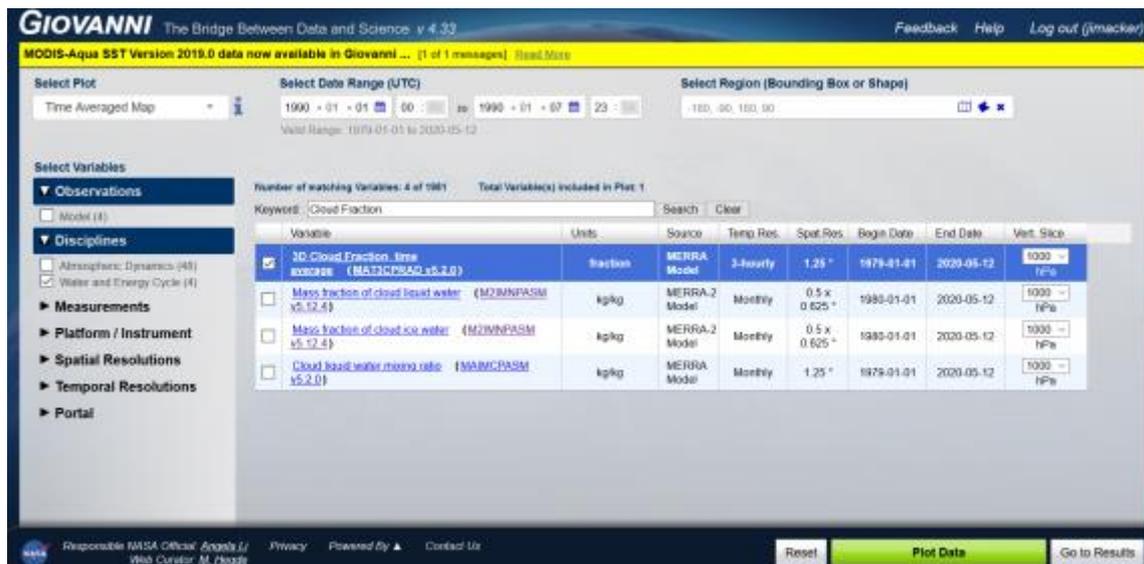
Los archivos fuente de la trama en formato net CDF (y otros formatos). Las secciones principales de la interfaz se describen a continuación. Los títulos de las secciones están vinculados a videos de demostración cortos.

Selección del tipo de visualización

En la parte superior de la interfaz hay menús para los distintos tipos de visualizaciones disponibles en Giovanni. Al seleccionar una visualización, aparecerá en el campo "Seleccionar trazado" en la esquina superior izquierda. La visualización predeterminada es

Figura 1

Interfaz de inicio



The screenshot shows the Giovanni web interface. At the top, it says 'GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.33'. Below that, there are navigation links for 'Feedback', 'Help', and 'Log out (jmaclean)'. A yellow banner at the top left says 'MODIS-Aqua SST Version 2019.0 data now available in Giovanni ... [1 of 1 messages] Read More'. The main interface is divided into several sections:

- Select Plot:** A dropdown menu is set to 'Time Averaged Map'.
- Select Date Range (UTC):** A date range selector showing '1990 - 01 - 01 00' to '1990 - 01 - 07 23'.
- Select Region (Bounding Box or Shape):** A text input field containing '-180, 90, 180, 90'.
- Select Variables:** A sidebar on the left with a search bar containing 'Cloud Fraction'. Below the search bar, there is a table of variables:

Variable	Units	Source	Temp. Res.	Spac. Res.	Begin Date	End Date	Vert. Slice
<input checked="" type="checkbox"/> 3D Cloud Fraction, time average (M23CPSAC1v5.2.0)	fraction	MERRA Model	3-yearly	1.25 °	1979-01-01	2020-05-12	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Mass fraction of cloud liquid water (M23MNPASM v5.12.4)	kg/kg	MERRA-2 Model	Monthly	0.5 x 0.625 °	1980-01-01	2020-05-12	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Mass fraction of cloud ice water (M23MNPASM v5.12.4)	kg/kg	MERRA-2 Model	Monthly	0.5 x 0.625 °	1980-01-01	2020-05-12	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Cloud liquid water mixing ratio (M23MNPASM v5.2.0)	kg/kg	MERRA Model	Monthly	1.25 °	1979-01-01	2020-05-12	1000 hPa

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Reset', 'Plot Data', and 'Go to Results'.

Mapa de tiempo promedio. La siguiente imagen muestra el menú de tipos de visualización que aparece cuando se hace clic en la flecha hacia abajo (▼) en el campo Seleccionar gráfico.

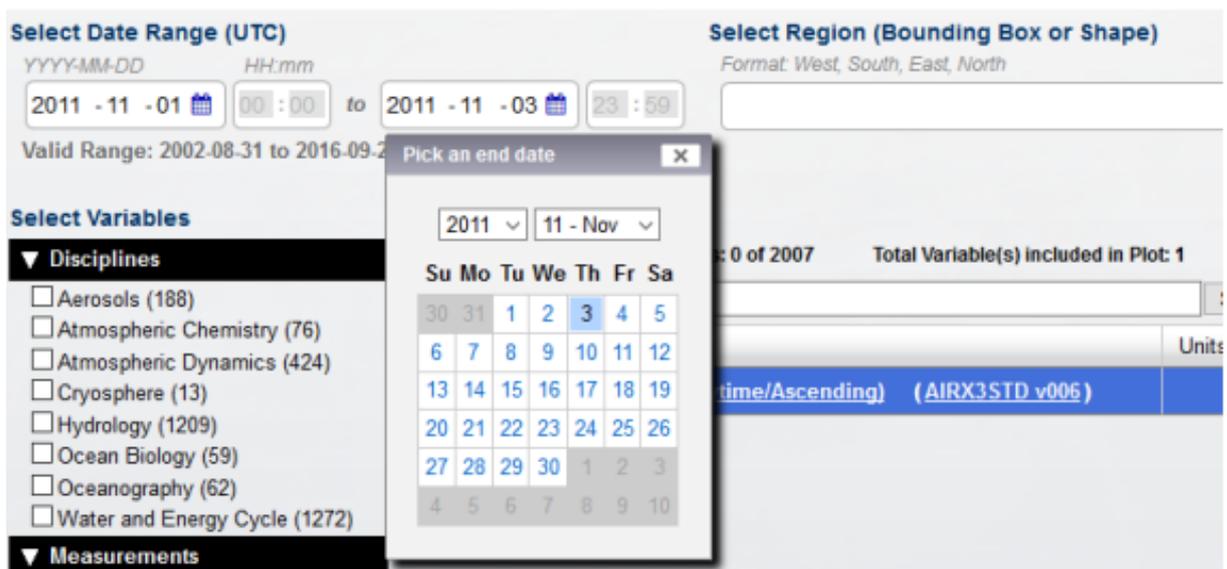
En la figura se observa un Interfaz que muestra las fechas de determinados gases.

Selección de rango de fechas La siguiente sección de la interfaz para examinar es la sección de Selección de rango de fechas. Las fechas de inicio y las fechas de finalización se

seleccionan con calendarios desplegables, como se muestra a continuación. Las fechas también se pueden ingresar manualmente, en formato AAAA-MMDD. Los mensajes de error indicarán si el intervalo de fechas se ingresó incorrectamente. Si se seleccionan datos con intervalos de tiempo sub-diarios (es decir, cada hora, cada 3 horas), se activará el cuadro de selección de horas y minutos (HH: mm). Nota: si se seleccionan productos de datos mensuales antes de seleccionar el rango de fechas, el selector de Rango de fechas solo permitirá opciones para año y mes.

Figura 2

Interfaz de fecha



En la figura se muestra el interfaz de Rangos de fechas

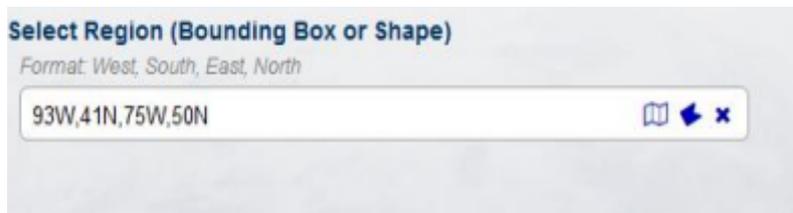
Selección de región de interés (cuadro delimitador)

La sección a la derecha de la sección Intervalo de fechas es la sección Seleccionar región. Hay tres opciones para la especificación de la Región de interés: manualmente (con límites de latitud y longitud para una región rectangular), con el mapa interactivo haciendo clic y arrastrando con el cursor, o seleccionando un área de Forma desde Menú de formas.

Las coordenadas de latitud y longitud se ingresan en el orden Oeste, Sur, Este y Norte, con las longitudes occidentales y las latitudes meridionales ingresadas como números negativos si se utilizan coordenadas numéricas. Las letras WS-E-N también se pueden emplear en lugar de coordenadas numéricas. Por lo tanto, se puede ingresar una latitud de 5 grados sur como -5.0 o 5.0S. "X" borra las entradas en el cuadro.

Figura 3

Delimitación del ámbito

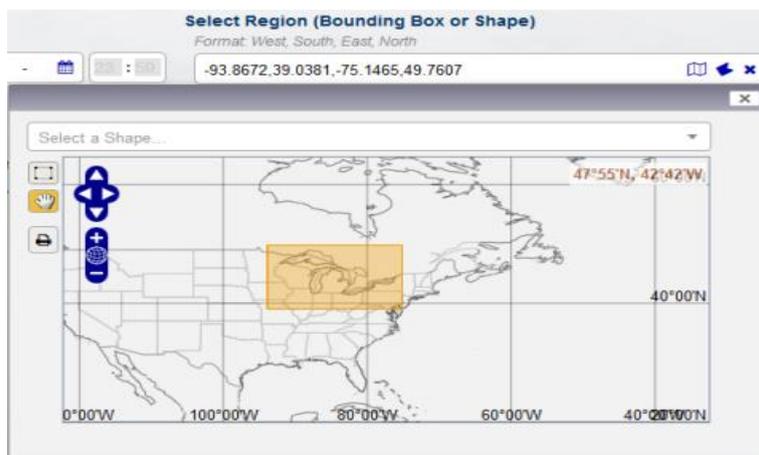


En la figura se muestra el interfaz de delimitación del área de estudio

Si el cursor se usa para seleccionar una región, la región seleccionada aparecerá como se muestra a continuación. Los valores de los puntos de esquina de latitud-longitud se mostrarán automáticamente.

Figura 4

Delimitación de ámbito de estudio



En la figura se muestra el ámbito de una zona de interés.

¿Qué datos están en Giovanni?

Este servidor es superior ya que permite examinar los datos satelitales con una resolución espacial reducida a la zona de estudio. Giovanni tiene una serie de datos de:

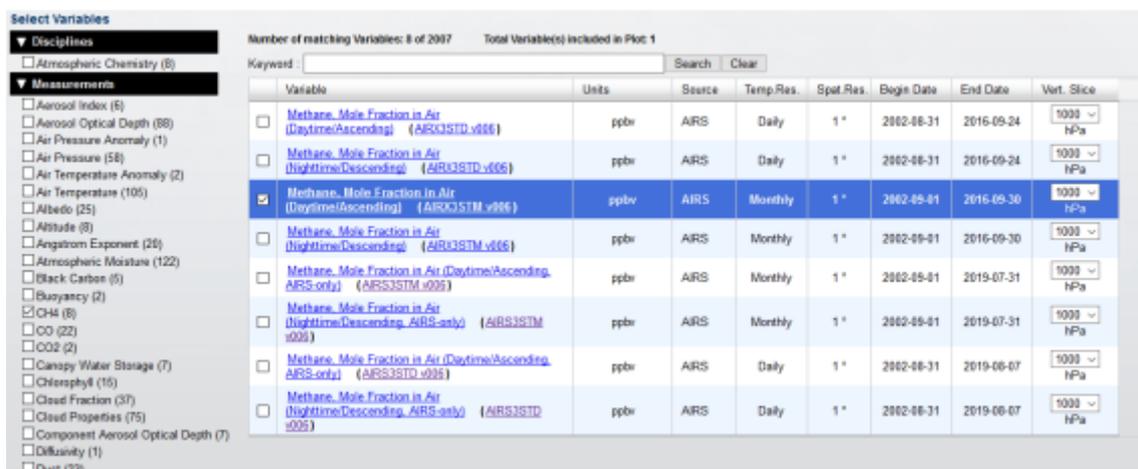
- ✓ Precipitación
- ✓ Temperatura de superficie
- ✓ Evaporación y evapotranspiración
- ✓ Química atmosférica
- ✓ Temperatura atmosférica, entre otros

Los datos en Giovanni están agrupados por temas, teniendo varios set de datos por categoría.

El servidor también te permite búsquedas temáticas (tipo google) y te muestra las características de los registros como resolución, tiempo de registro, etc.

Figura 5

Lista de gases



Number of matching Variables: 8 of 2097 Total Variable(s) included in Plot: 1

Keyword: Search Clear

Variable	Units	Source	Temp. Res.	Spot. Res.	Begin Date	End Date	Vert. Slice
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Daytime/Ascending) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Daily	1"	2002-08-31	2016-09-24	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Nighttime/Descending) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Daily	1"	2002-08-31	2016-09-24	1000 hPa
<input checked="" type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Daytime/Ascending) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Monthly	1"	2002-08-01	2016-09-30	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Nighttime/Descending) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Monthly	1"	2002-09-01	2016-09-30	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Daytime/Ascending, AIRS-only) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Monthly	1"	2002-08-01	2019-07-31	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Nighttime/Descending, AIRS-only) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Monthly	1"	2002-08-01	2019-07-31	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Daytime/Ascending, AIRS-only) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Daily	1"	2002-08-31	2019-08-07	1000 hPa
<input type="checkbox"/> Methane, Mole Fraction in Air (Nighttime/Descending, AIRS-only) (AIRS3STD_v006)	ppbv	AIRS	Daily	1"	2002-08-31	2019-08-07	1000 hPa

Observamos la presentación del gas con sus unidades y formatos de descarga.

¿Qué análisis y visualizaciones te provee Giovanni?

Giovanni permite explorar data satelital con visualizaciones y análisis sofisticados, tiene acceso a datos de distintos satélites y puede manejar distintos formatos de datos como:

- ✓ Hierarchical Data Format (HDF)
- ✓ HDF-EOS
- ✓ network Common Data Form (netCDF)
- ✓ GRIdded Binary (GRIB)

Todos estos archivos ráster mencionados pueden ser manejados por software SIG como QGIS y ArcGIS.

El servidor también te permite realizar gráficos de correlación, análisis areales, perfiles verticales y animaciones. Se recomienda utilizar este servidor en navegadores con Chrome o Firefox.

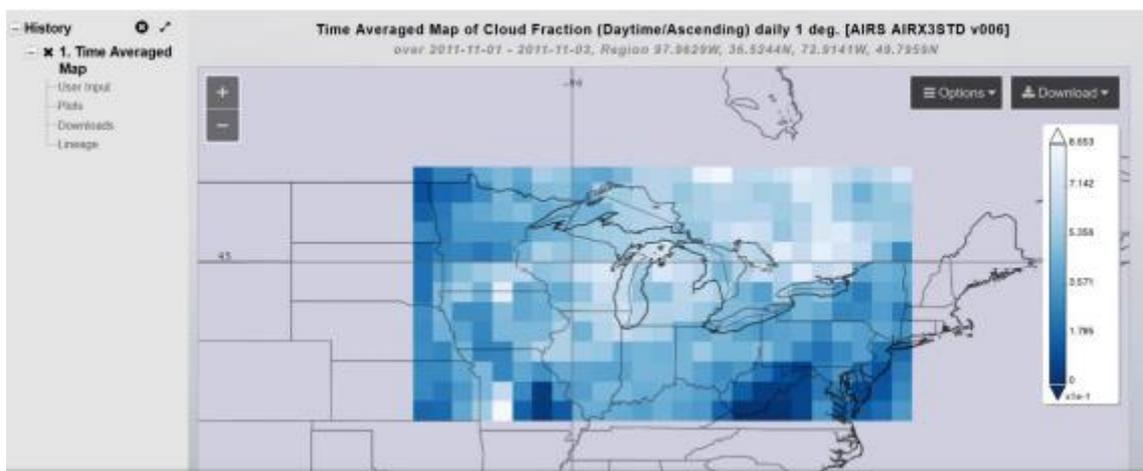
Trazar datos y opciones de redistribución

Cómo Giovanni realiza el suavizado en los mapas de datos Una vez que se ha ingresado toda la información necesaria y se ha seleccionado una variable o variable de datos para el análisis, un usuario de Giovanni simplemente hace clic en el botón verde Trazar datos para iniciar el análisis. La siguiente pantalla mostrará los pasos de procesamiento en progreso. Si se encuentra un mensaje de error durante el procesamiento, el usuario puede hacer clic en el botón Comentarios para capturar el flujo de trabajo de un mensaje de correo electrónico y enviarlo al equipo de Desarrollo de Giovanni, donde puede ser investigado. El siguiente ejemplo muestra algunas posibilidades de respuesta. Tenga en cuenta que los

valores de datos máximos y mínimos para el rango de la paleta de colores también se pueden ajustar, y el gráfico se puede mostrar con una escala lineal o logarítmica (esta última se utiliza principalmente para tipos de datos oceánicos). El ejemplo utiliza la variable de datos de fracción de nube diaria durante el día / ascendente de la sonda de

Figura 6

Suavizado de pixeles



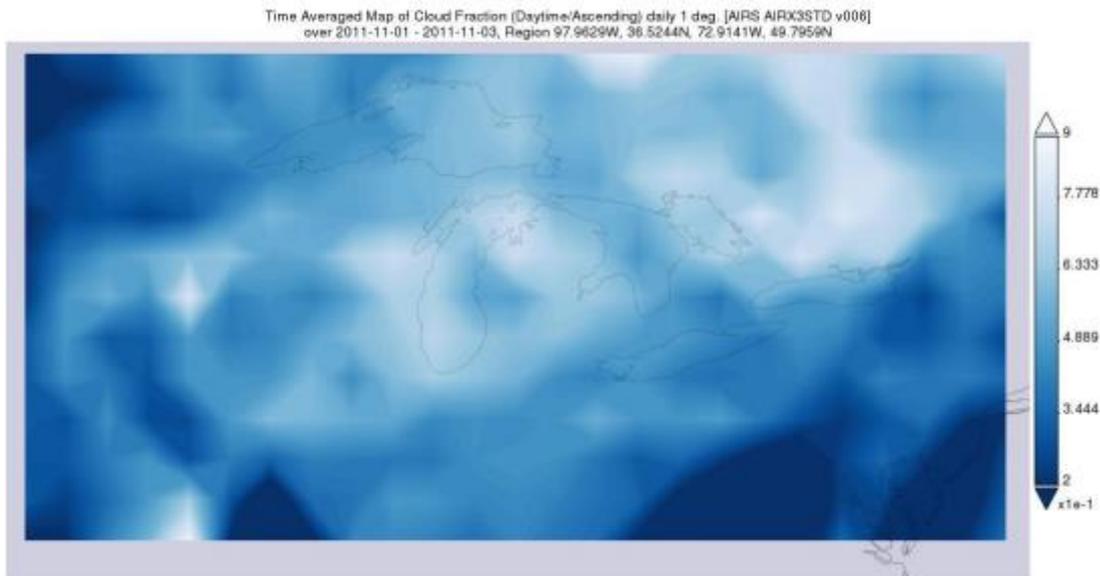
infrarrojos atmosféricos (AIRS) AIRX3STD v006. El período de tiempo es del 1 al 3 de noviembre de 2011.

En la figura se muestra la concentración de gases.

Tenga en cuenta que el mapa puede ampliarse (controles +/- en la parte superior izquierda) y moverse haciendo clic y arrastrando con el cursor. Para las opciones de respuesta, haga clic en el cuadro "Opciones" en la parte superior derecha. Se mostrarán los menús para las opciones. La imagen final se puede descargar como un archivo PNG, con el resultado que se muestra a continuación.

Figura 7

Tratamiento final de un ráster



En la figura se observa el resultado final de un ráster para tratamiento en SIG.

Para refinar aún más este gráfico, se puede cambiar la paleta de colores. Se pueden seleccionar varias opciones de paleta de colores para permitir comparaciones rápidas. En este caso, se agregaron dos opciones de paleta

Dispersión y cálculo de concentración mediante Modelos Gaussianos

La dispersión atmosférica de los contaminantes puede ser estudiada en un área local, comprendida en un radio de hasta 50 km alrededor de la fuente, o en un área regional que puede alcanzar hasta algunos miles de kilómetros. Dependiendo de la escala (regional o local), se emplean diferentes modelos de transporte de contaminantes para determinar las concentraciones.

Para la escala local, la dispersión de los contaminantes primarios depende fundamentalmente de parámetros meteorológicos, como la velocidad y la dirección del viento, la temperatura ambiente, la clase de estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla.

En este análisis se utilizan modelos Gaussianos para estimar los niveles de concentración de los contaminantes primarios emitidos por fuentes estacionarias con chimeneas (Spadaro, 1999 p.23.).

Dispersión y cálculo de concentración mediante Modelos Gaussianos

La dispersión atmosférica de los contaminantes puede ser estudiada en un área local, comprendida en un radio de hasta 50 km alrededor de la fuente, o en un área regional que puede alcanzar hasta algunos miles de kilómetros. Dependiendo de la escala (regional o local), se emplean diferentes modelos de transporte de contaminantes para determinar las concentraciones.

Inche (2008) El movimiento vertical es conocida como “estabilidad atmosférica”, también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire. Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical. Generalmente, el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente en el día debido a la absorción de la energía solar. Luego, el aire más caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire más frío y pesado de la atmósfera superior. Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado. Generalmente, cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores (p. 60).

1.8. Modelo Gaussiano de dispersión.

Estos modelos son de uso común en problemas de dispersión contaminantes no reactivos de fuentes puntuales tales como chimeneas industriales; estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es, en general, decreciente en tanto se

aplican en localidades con relieve complejo y caracterizados por circulaciones atmosféricas complejas (U.S. EPA, 2015). 46 según Kiely (1999). Este modelo describe a través de una fórmula simple el campo tridimensional de concentraciones generado por una fuente puntual en condiciones meteorológicas y de emisión estacionarias. A medida que un penacho progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana. Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará un penacho en forma de cono. La concentración en la línea central del penacho será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos del penacho pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la Figura 8.

De acuerdo a ello la concentración de un contaminante en cualquier punto es: Donde

U es la velocidad del viento,

Q es la tasa de emisión y

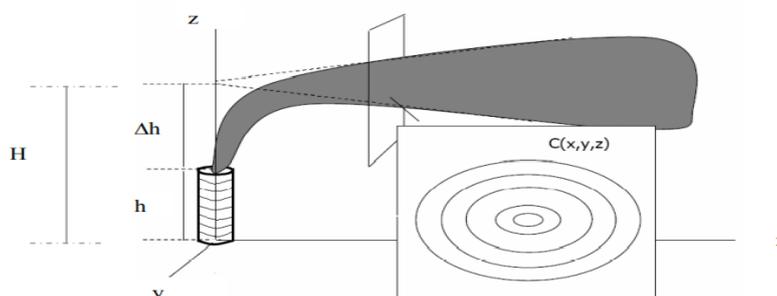
G es la curva de Gauss normalizada en el plano YZ .

Fórmula matemática

Como se observa en la siguiente Figura 1, la pluma se eleva a una altura adicional a h (la de la chimenea) como consecuencia de que los gases calientes flotan y además del propio movimiento vertical que tienen cuando salen de la chimenea; así que la altura efectiva de la chimenea es $H = h + \Delta h$, en donde Δh expresa la elevación de la pluma.

Figura. 8.

Modelo de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva, H



Fuente: R.W. McMullen. J. Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Las hipótesis sobre las cuales se basa la formulación matemática son:

- Desarrollo del modelo para un estado estacionario.
- La difusión de masa es despreciable en la dirección del eje x.
- La velocidad del viento u se considera constante ya que las variaciones de ésta en los tres ejes coordenados son muy pequeñas y se puede despreciar.
- La fuente puntual se localiza en X=0 y a la altura efectiva de chimenea H.

La formulación matemática para el caso en cual los contaminantes emanan a la altura de la chimenea y sin efecto de reflexión del suelo, se describe a continuación:

Ecuación 1.

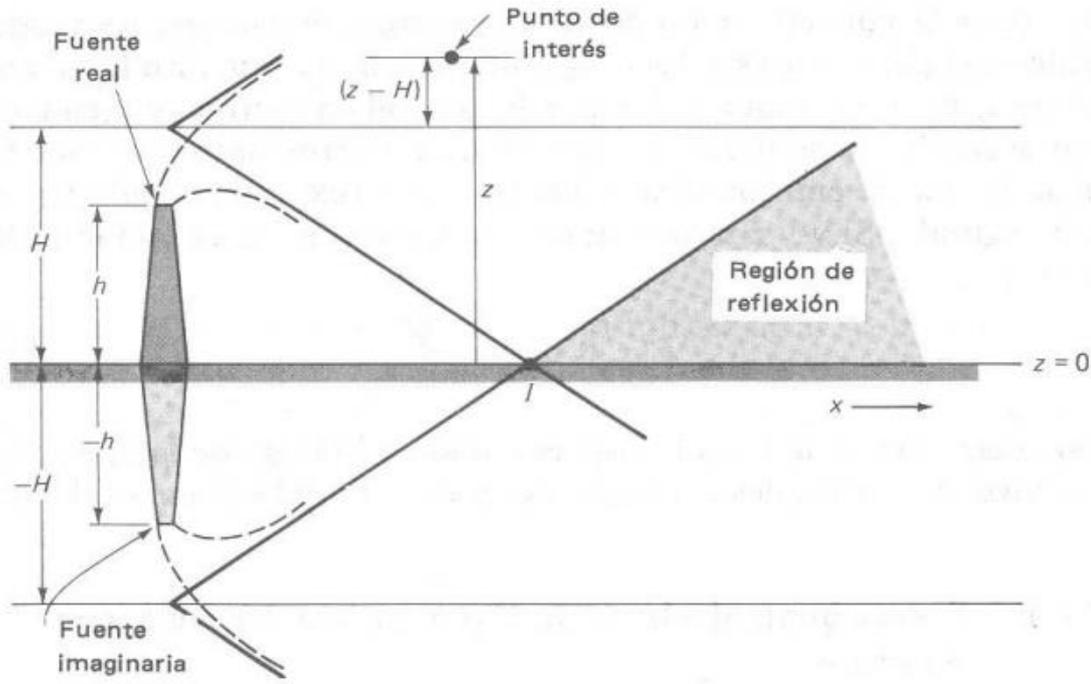
Dispersión sin efecto de reflexión del suelo

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Una modificación a la ecuación (1) se refiere a la consideración de que el contaminante se reflejará partir de una cierta distancia en x, al dispersarse a la atmósfera desde el nivel del suelo; lo que implica a su vez que el suelo no es sumidero para dicho contaminante. Para lo anterior es necesario usar una fuente imaginaria tal y como se muestra en la figura 2 con una localización en z=-H, x y y=0 teniendo así una imagen en el espejo de la fuente original. La concentración será mayor a la determinada sin tomar en cuenta la reflexión del contaminante ya que existe una superposición de dos curvas gaussianas, la primera corresponde a la fuente virtual en H y la otra en -H. La formulación matemática es la ecuación (2).

Figura. 9.

Efecto de reflexión del suelo.



Fuente: R.W. McMullen. J.Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Ecuación 2.

Reflexión del suelo de los contaminantes

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right]$$

La expresión más reducida del modelo de dispersión gaussiana correspondiente al nivel del suelo:

Ecuación 3.

Fórmula simplificada para la reflexión de suelo

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi x (\sigma_y \sigma_z)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right)\right]$$

La nomenclatura para las 3 ecuaciones anteriores es:

- C: Concentración del contaminante en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Q: Emisión de gas en g/s
- z: Distancia en el eje z en m
- y: Distancia en el eje y en m
- h: Altura de la chimenea en m
- H: Altura efectiva de la chimenea en m
- $\sigma_y\sigma_z$: Desviaciones normales horizontal y vertical respectivamente.

Ecuación 4.

Formula de modelamiento SIG dispersión de contaminantes gauss

$$\sigma = \exp \left[I + J(\ln x) + K(\ln x)^2 \right]$$

En donde:

σ : Desviación normal de la concentración del contaminante, ya sea horizontal σ_y o Vertical σ_z

In x: Logaritmo natural de la distancia a nivel de suelo, expresada en kilómetros.

I, J, K: Constantes empíricas para una condición de estabilidad correspondiente a cada valor de σ .

1.9. Formulación del problema.

¿Cuál es la concentración de los gases CO, NO_x, SO₂ y material particulado (PM₁₀) procedentes de las pollerías en la ciudad de Chota en el departamento de Cajamarca?

1.9.1. Problema general

¿A cuánto asciende los niveles y concentración de dispersión de contaminantes de las 06 pollerías de la ciudad de Chota, en base a la aplicación de Sistemas de Información Geográfica?

1.10. Objetivos

1.10.1. Objetivo general.

Determinar la concentración de los gases NO_x, CO, PM₁₀, SO₂ en chimeneas de 6 pollerías de la ciudad de Chota a través de Imágenes satelitales del geoservidor Giovanni y la dispersión de los mismos por el método de dispersión Gaussiano a través del análisis geoespacial.

1.10.2. Objetivos específicos

- Simular la dispersión de los contaminantes en el aire generados por las pollerías de la ciudad de Chota año 2020.
- Elaborar mapas de concentración de los gases CO, NO_x, PM₁₀ y SO₂ de la emisión de las chimeneas de 6 pollerías de la ciudad de Chota.

1.11. Hipótesis

1.11.1. Hipótesis general

Los niveles de dispersión de contaminantes de pollerías ascienden a valores de hasta 500 µg/m³ en la zona de emisión, en las 6 pollerías de la provincia de Chota.

CAPÍTULO II.

MÈTODO

2.1. Tipo de investigación

La investigación que se propone es de tipo cuantitativa, no experimental, descriptiva, de gabinete, usará información secundaria, transversal y unidisciplinaria (Hernández & Ramírez, 2017).

2.2. Población y muestra

Población

La población es el conjunto de todas unidades de análisis (individuos, eventos, sucesos, objetos entre otros), en los cuales se pretende realizar una investigación de acuerdo a posibles características en común entre ellos, los cuales se encuentran en un determinado tiempo y espacio dado. (p. 129)

Para el estudio desarrollado, la población son las fuentes estáticas de la dispersión de contaminantes está constituida por el conjunto de pollerías de la ciudad de Chota. Se utiliza la información que se tiene de la los geo servidores del Servicio Geográfico de los Estados Unidos (USGS), a través de imágenes Lansat.

La Muestra

La muestra se determinó en base de datos, mediante geo servidores de servicio delivery de la ciudad Chota está constituido por 6 pollerías: RP-CC, RP-N, RP-TR, RP-P, RP-L, RP-SP, en el ámbito de la ciudad de Chota.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

Métodos:

Para el desarrollo de la presente investigación se consideró observacional descriptiva ya que no se intervino en la población del estudio solo se centró en observar y cuantificar las emisiones de contaminantes de la ciudad de Chota. Para esto se siguió las siguientes etapas,

evaluación de problema, selección de muestra, validación de instrumentos, recopilación de datos, evaluación de datos, análisis de datos y su posterior evaluación de resultados.

Técnicas:

- ✓ Matrices.
- ✓ Análisis de contenido documental.
- ✓ Modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes (Método Krigin en ArcGIS)

Instrumentos:

- ✓ Matrices para registro cruzado de datos.
- ✓ Cartografía.
- ✓ Registros estadísticos.
- ✓ Elaboración de las emisiones (gases y material particulado) de las pollerías a través del software ArcGIS.
- ✓ Documentos como Decretos Supremos y/o normas peruanas: DS 074-2001-PCM; DS 003-2008-MINAM; RM 315-96-EM; DS 009-2003-AS y otros como documentos de la ECA (Estándares de Calidad del Aire) decreto supremo N.º 003-2017-MINAM.

Equipos

- ✓ Laptop.

Material cartográfico

- ✓ Base de datos de Zonificación Ecológica Económica del gobierno regional de Cajamarca.
- ✓ Cartografía Catastro urbano.
- ✓ Imágenes en formato ráster del satélite Giovanni.

Software

- ✓ Microsoft Windows 10, Microsoft office 2016, ArcGIS 10.8 y geoservidores Como USGS y satélite Giovanni de la NASA.

Análisis de los datos

- ✓ Se obtuvieron datos de ubicación del área de estudio mediante plataformas virtuales de recolección de datos.
- ✓ Así también se recolecto datos de la fuente de emisión mediante teledetección de imágenes del satélite Giovanni de la NASA.
- ✓ Simultáneamente se obtuvieron datos del contaminante cuyo proceso responde a la extracción de valores de los ráster de contaminantes obtenidos del satélite Giovanni de la NASA.
- ✓ Luego se recolecto datos de características meteorológicas del área de estudio mediante la ficha de recolección de datos meteorológicos en este caso se obtuvo datos de velocidad del viento predominante y dirección del viento; así también los datos de radiación solar las cual de obtuvo de la página oficial de la NASA disponible en línea con el fin de determinar la dispersión con el modelo de Gauss.
- ✓ Posteriormente se analizaron los datos en forma de algoritmos para ser ingresados al software “ArcGIS” realizar el modelado de la dispersión de contaminante.

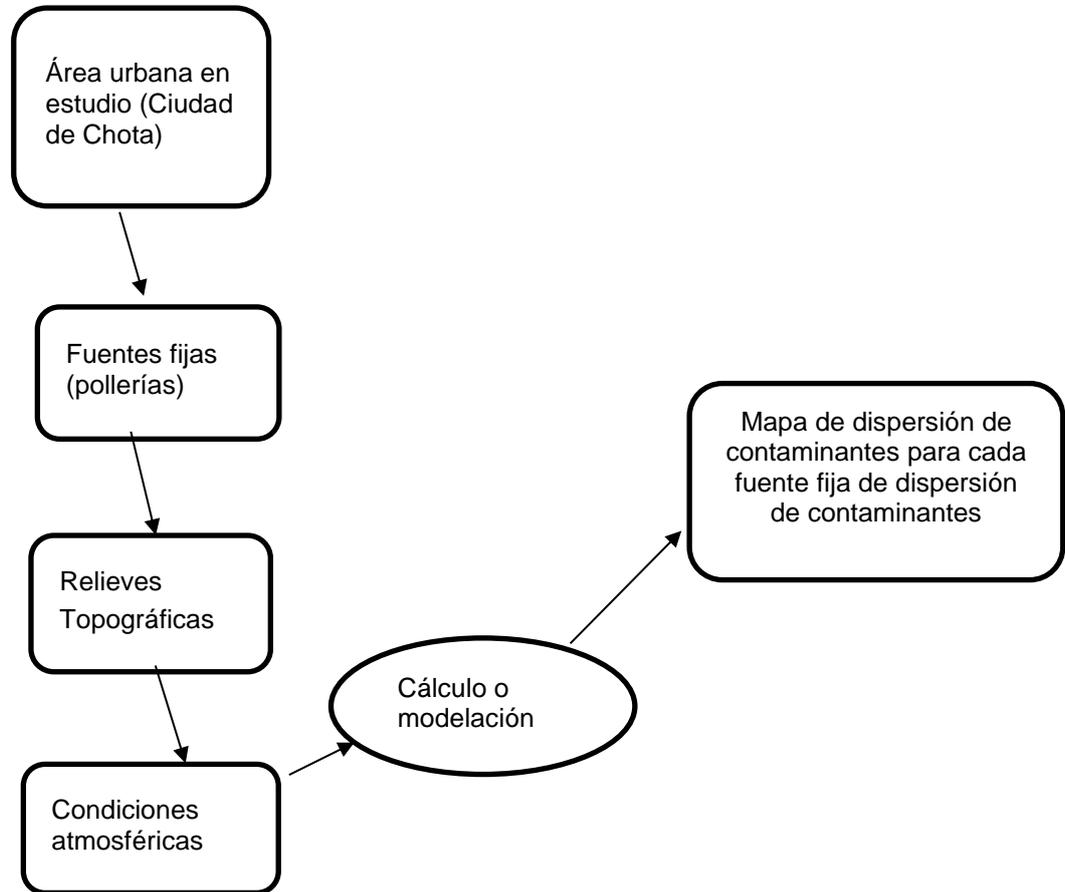
2.4. Procedimiento.

El modelo de dispersión gaussiano considera que el penacho de contaminantes emitido por una chimenea sigue una distribución gaussiana perpendicular al movimiento convectivo principal. La ecuación de difusión gaussiana relaciona los niveles de inmisión en un punto con la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera desde el foco emisor, teniendo en cuenta las condiciones de emisión de los gases y las características climáticas y topográficas del medio receptor. Se considera

que el viento, la humedad, la temperatura y las precipitaciones tienen un papel importante en el aumento o disminución de la contaminación (Orozco Barrenetxea et al., 2008). Con los datos obtenidos se procedió a realizar un Sistema de Información Geográfica, en el cual se realizaron varios geoprocesamientos: primero se procedió a georreferenciar las pollerías, además de la generación del modelo de dispersión de contaminantes, con el objetivo de pasar esta información a ráster, encontrando de esta manera la dispersión que tienen los datos entre cada uno por medio de la herramienta kriging (Colsa Pérez, González Lorenzob, et al., 2014), el cual permite analizar la distribución entre puntos con un grado de información, permitiendo encontrar relaciones entre estos (Cañada T; Moreno J; González L; 2014) . El software (ArcGIS) utiliza esta información y la procesa en varios cortes, como el procesamiento de los datos meteorológicos empleados en la aplicación del modelo de dispersión de contaminantes correspondientes al año 2020. La dirección del viento predominante se halló mediante un análisis vectorial con la elaboración de las rosas de vientos en un modelo SIG. Con posterioridad, se utilizará una imagen satelital del satélite Giovanni correspondiente a la ciudad de Chota, cuyas imágenes en formato ráster proporcionan datos sobre concentración de NO_x, CO, SO₂ y PM₁₀.

Figura 10

Flujograma sobre la aplicación del modelo gaussiano



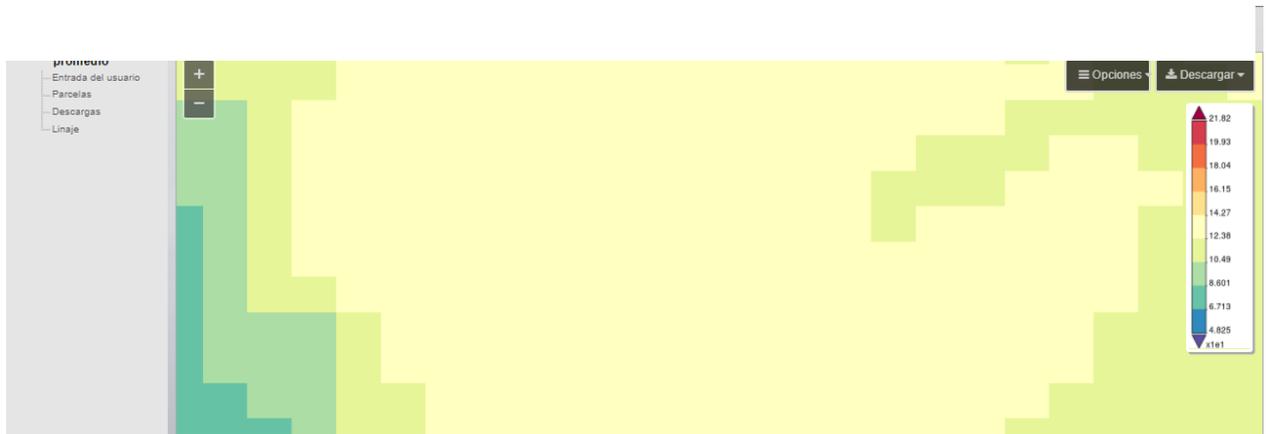
En la figura 10 se muestra un flujograma de la aplicación del modelo gaussiano de la dispersión de contaminantes.

Concentración de Gases NO_x, CO, SO₂ Y PM₁₀ a través de la teledetección.

Para determinar la concentración de los mencionados gases nos hemos valido de los datos satelitales del geo servidor GIOVANNI de la NASA.

Figura. 11.

Interfaz del satélite GIOVANNI, con una lista de datos de NOX, CO, SO2, PM10



Nota: En la figura se observa un mosaico que muestra la concentración de CO los cuales están en formato ráster, para su posterior geoprocesamiento en ArcGIS.

CAPÍTULO III.

RESULTADOS

3.1. Área de estudio

El presente estudio comprendió en ámbito urbano de la ciudad de Chota con una extensión de 386.16 ha aproximadamente. Para determinar la dispersión de contaminantes proveniente del proceso de combustión del carbón en las principales pollerías de la ciudad de Chota.

Figura 12

Identificación de las principales pollerías a través de Imágenes Lansat



Nota: En la figura se observa una imagen satelital con la distribución de las pollerías en la ciudad de Chota obtenida a través del Imágenes Lansat.

Tabla 1

Características generales de las principales pollerías de la ciudad de Chota

Nombre de la fuente	Tipo de combustible	Altura de		Coordenadas UTM		
		chimenea(m)	Diámetro(m)	WGS 84		Altitud(msnm)
PR- N	Carbón/gas	5	0.5	760090.38	9274025.18	2404
PR-L	Carbón/gas	4	0.5	759789.8	9274168.98	2395
PR-P	Carbón/gas	3	0.5	759779.6	9274022.07	2394
PR-SP	Carbón	4	0.5	759321.76	9274074.61	2368
PR-TR	Carbón	4	0.5	7600090	9274340	2365
PR-CC	Carbón	5	0.5	759688.68	9274180.68	2389

Nota: En la tabla se observa la distribución geoespacial con coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Tabla 2

Características meteorológicas de la ciudad de Chota

Descripción de las estaciones meteorológicas		
Rango de medición	Exactitud	Datos
Temperatura	“+/-0.5 °C	22°C
Presión	“+/-1.7 mBar	1013 mBar
Humedad		80%
velocidad del viento	“+/-5%	8 m/s
Radiación solar	“+/-5%	1800W/m2

Nota: En la tabla se detalla las condiciones meteorológicas para la ciudad de Chota.

Dado de que se no se dispone de un estudio riguroso de la meteorología de la zona realizar los cálculos para las siguientes condiciones meteorológicas: Viento: 2m/s (viento suave) y 6m/s (viento fuerte). Suponer una temperatura ambiente de 22°C y 1013 milibares de presión, humedad de 80%. Considera altura de mezclado de 300 metros, y días de radiación solar fuerte.

Tabla 3

Datos meteorológicos de la ciudad de Chota.

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/12/2021	20.4	9.8	87.7	0
02/12/2021	18.8	10.6	86.2	0
03/12/2021	23.2	9.6	81.6	2.2
04/12/2021	21.4	12.4	83.4	2.5
05/12/2021	17.6	12.2	91.4	15.3
06/12/2021	22.6	11.4	83.6	0
07/12/2021	20.8	12	84.9	0
08/12/2021	21.6	12.2	85.7	4.4
09/12/2021	19.4	11.8	88.7	10.9
10/12/2021	19	12.2	91.3	20.7
11/12/2021	14.4	11	94.8	1.5
12/12/2021	15.8	10.4	91.5	0
13/12/2021	21.8	8.6	79.3	0
14/12/2021	22.8	9	80.3	0
15/12/2021	22.8	10.2	80.6	0.7
16/12/2021	22.6	12.2	85.6	15.2
17/12/2021	21.6	12.6	85.5	0
18/12/2021	21	13	90	17.6
19/12/2021	19.6	12.2	89.4	14.7
20/12/2021	19.8	11.4	89	9.9
21/12/2021	20.6	11.6	84.7	0
22/12/2021	23.2	11.4	83.1	0
23/12/2021	23.8	11	83.2	4
24/12/2021	23.6	10.4	79.8	0
25/12/2021	24.6	9.6	78.1	0
26/12/2021	24.8	10.8	78.6	0
27/12/2021	24.4	10.2	79.1	0
28/12/2021	21.6	10	85.4	15.4

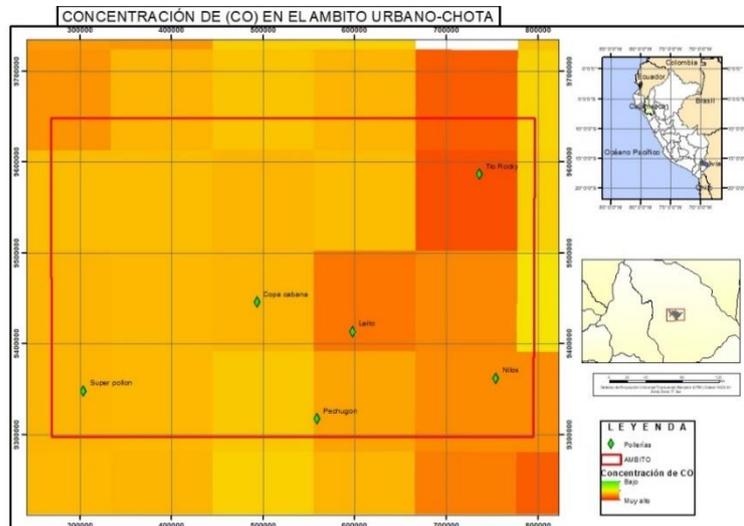
Fuente. SENAMHI

Concentración de Gases NO_x, CO, SO₂, PM₁₀

El resultado del procesamiento las imágenes satelitales arrojan datos de NO_x, CO, SO₂, PM₁₀, en de acuerdo a bandas de colores que representan las concentraciones de los gases en el ámbito de estudio, los resultados se muestran en las siguientes figuras.

Figura 13

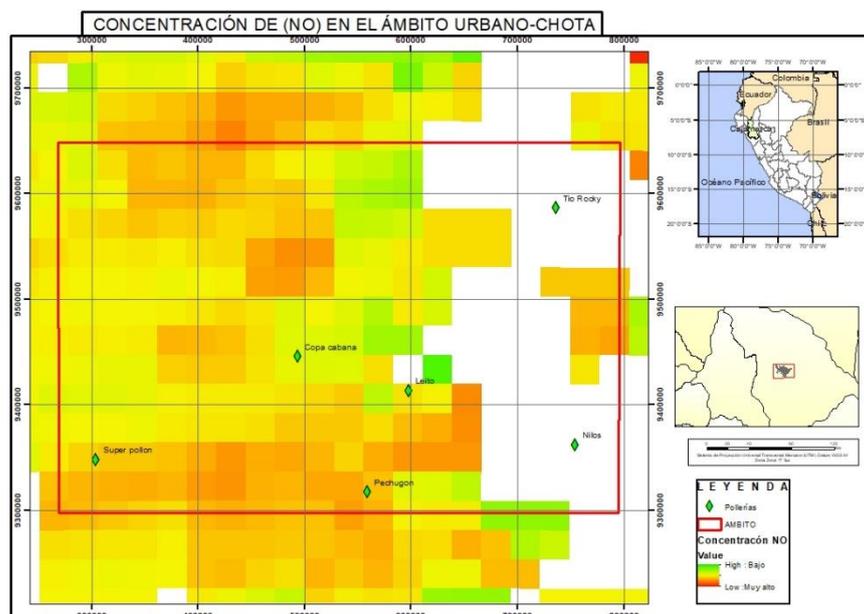
Concentración de CO de ráster tomado del satélite Giovanni



Nota. Se observa los pixeles de concentración de CO el color rojo y anaranjado simula una concentración alta, el amarillo medio lo cual el análisis se restringe al ámbito de estudio (rectángulo rojo).

Figura 14

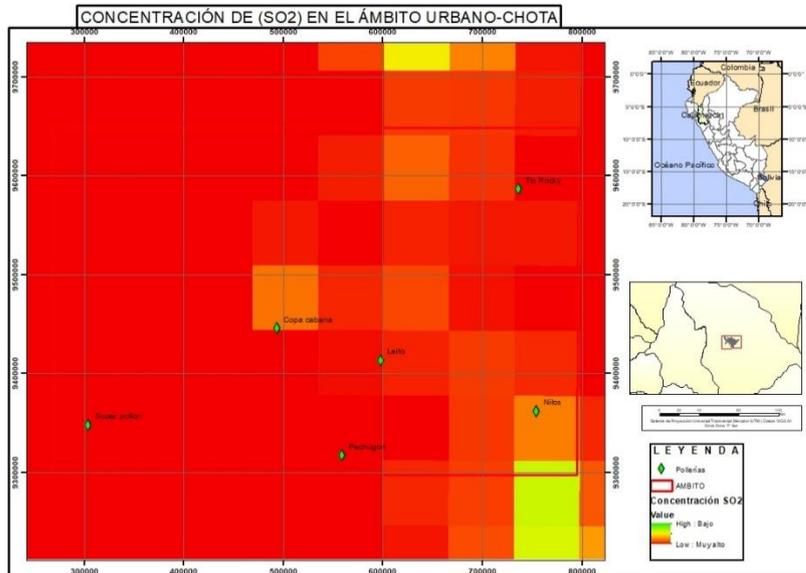
Concentración de NO de ráster tomado del satélite Giovanni



Nota. Se observa los pixeles de concentración de NO el color rojo y anaranjado simula una concentración alta, el amarillo medio, los pixeles con tonos verdes niveles bajos lo cual el análisis se restringe al ámbito de estudio (rectángulo rojo).

Figura 15

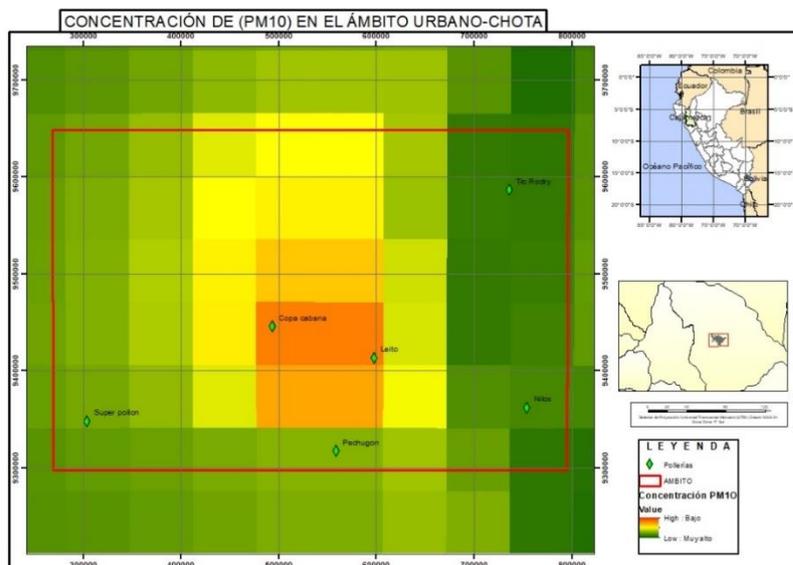
Concentración de SO₂ de ráster tomado del satélite Giovanni



Nota. Se observa los píxeles de concentración de SO₂ el color rojo y anaranjado simula una concentración alta, el amarillo medio

Figura 16

Concentración de PM₁₀ de ráster tomado del satélite Giovanni

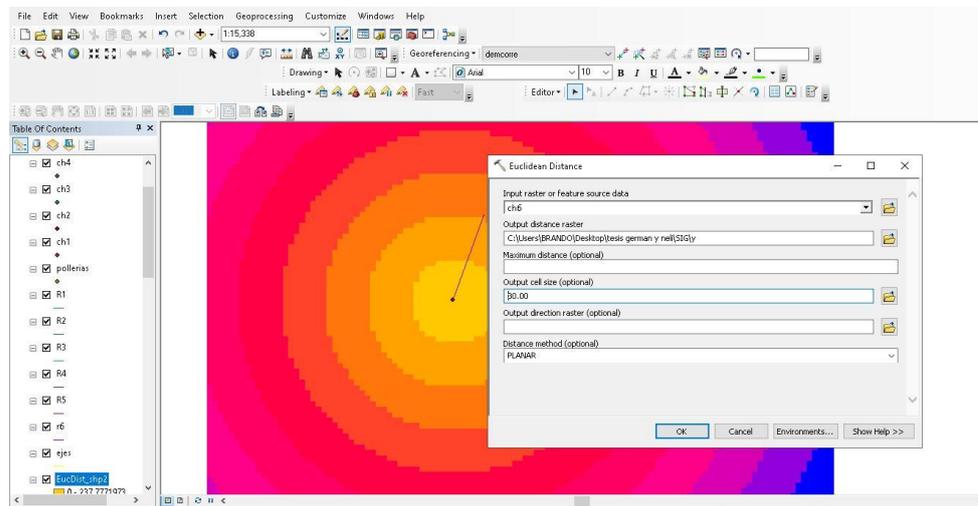


Nota. Se observa los píxeles de concentración de PM₁₀ los tonos anaranjados simula una concentración alta, el amarillo medio, los píxeles con tonos verdes niveles bajos lo cual el análisis se restringe al ámbito de estudio (rectángulo rojo).

Determinación de la dispersión según el modelo Gaussiano

Figura 17.

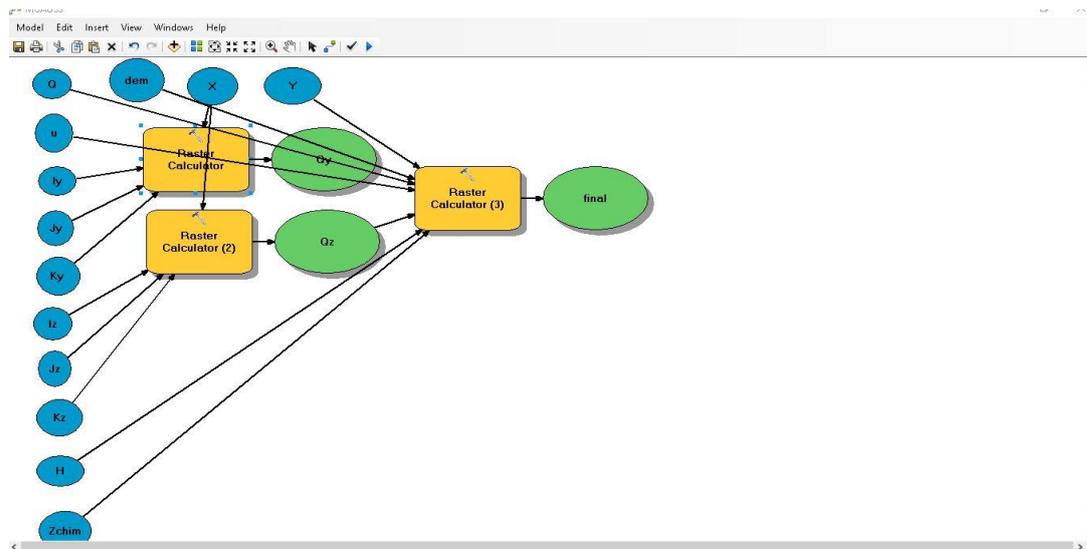
Determinación de distancias euclidianas para determinar valores de x e y



Nota: geoprocresamiento en ArcGIS 10.8. Notamos la dispersión de contaminantes siguiendo un patrón según el eje de coordenadas x e y simulando hondas de expansión, en función a una fuente fija (pollería).

Figura 18.

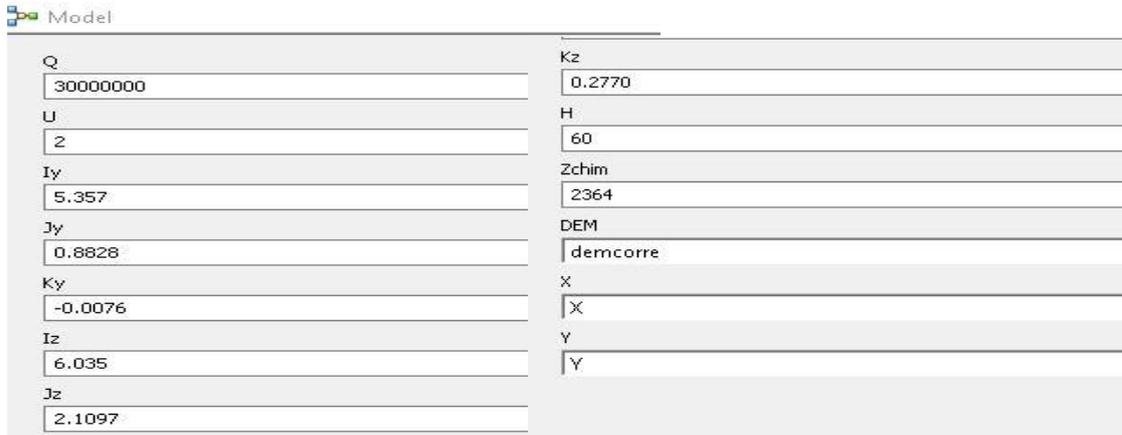
Modelo de dispersión de contaminantes esquema de la formula a través de ArcGIS



Nota. Se observa la elaboración de un modelo gaussiano a través de una fórmula en modelbuilder de ArcGIS

Figura 19.

Asignación de valores en el modelo Gaussiano



Q	30000000	Kz	0.2770
U	2	H	60
Iy	5.357	Zchim	2364
Jy	0.8828	DEM	demcorre
Ky	-0.0076	X	X
Iz	6.035	Y	Y
Jz	2.1097	Y	Y

Nota: Se observa valores los culés corresponden a los datos de las variables generadas en la ecuación de modelbiuder del modelo gaussiano.

Tabla 4.

Valores de I, J, K para σ_y en función de la distancia a nivel de piso

Condición de Estabilidad	I	J	K
A	5.357	0.8828	-0.0076
B	5.058	0.9024	-0.0096
C	4.651	0.9181	-0.0076
D	4.23	0.9222	-0.0087
E	3.992	0.9222	-0.0064
F	3.553	0.9181	-0.007

Fuente: R.W. McMullen. J.Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Es de relevancia considerar significado de las claves de categoría atmosférica:

Tabla 5

Valores de I, J, K para σ_z en función de la distancia a nivel de piso

Condición de Estabilidad	I	J	K
A	6.035	2.1097	0.277
B	4.694	0.0136	0.0136
C	4.11	-0.002	-0.002
D	3.414	-0.0316	-0.0316
E	3.057	-0.045	-0.045
F	2.621	0.6564	-0.054

Fuente: R.W. McMullen. J.Air Pollu. Control Assoc. 25, No. 10 (1975): 1057

Es de relevancia considerar significado de las claves de categoría atmosférica:

- A: Es la más inestable
- B: Es moderadamente inestable
- C: Es ligeramente inestable
- D: Clase neutral
- E: Es ligeramente estable
- F: Es la más estable

3.2. Dispersión de contaminantes por la combustión del carbón en las chimeneas de las pollerías de la ciudad de Chota.

3.2.1. PR-CC.

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la chimenea de la pollería Copacabana de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6

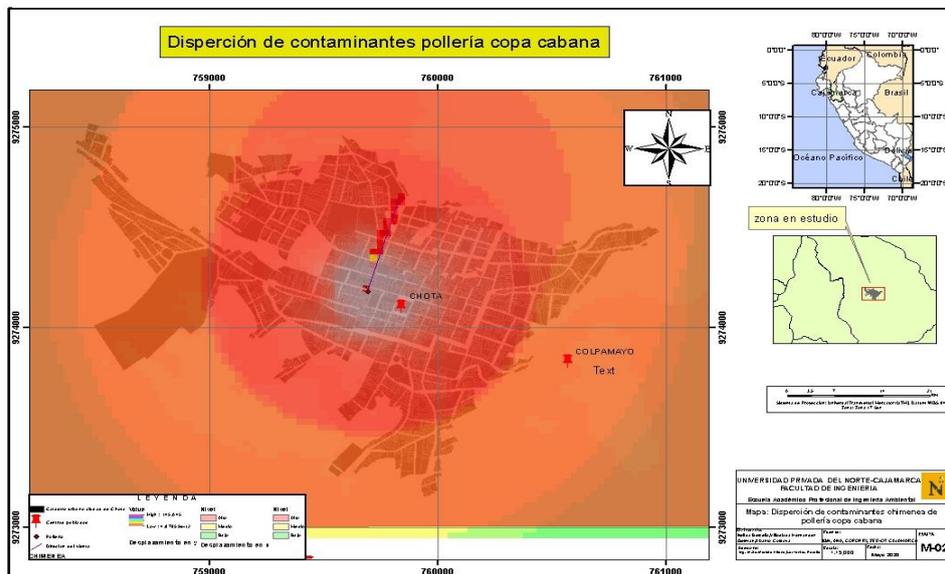
Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-CC.

	valor máximo	valor mínimo	Área total afectada	
Nivel (µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	Promedio	(radio en metros)
Alto	145.04	112.62	128.83	100
Medio	112.62	37.54	75.08	70
Bajo	37.54	4.88	21.21	15

Nota: En la tabla se muestra los niveles de distribución de contaminantes resultado del Modelo Gaussiano.

Figura. 20

Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-CC -modelo de gauss



Nota: En la figura 20 se observa la dirección que sigue la pluma de humo procedente del restaurante pollería PR-CC a que corresponde a la honda de color rojo claro, además de la dispersión de la misma en el ámbito de la ciudad de Chota, con una laguna de humo de color plomo

3.2.2. PR-N

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la pollería Nilos de la ciudad de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

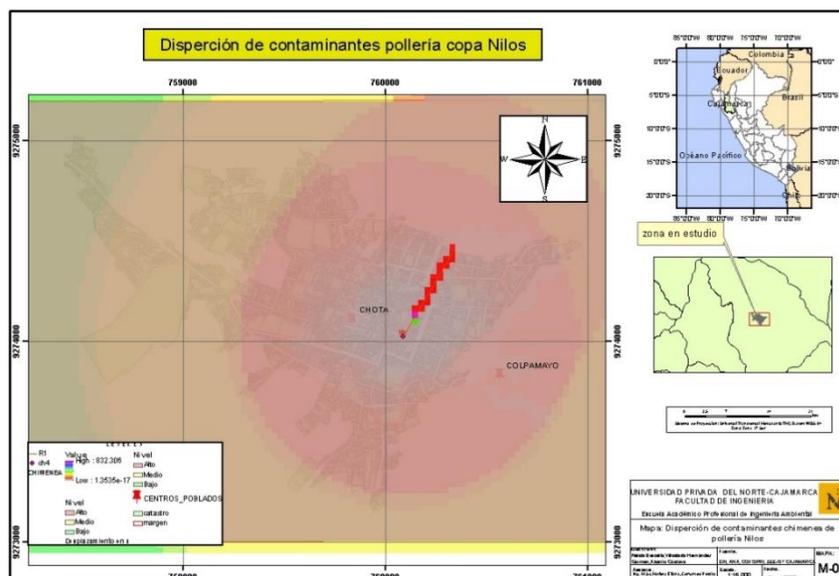
Tabla 7

Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-N.

Nivel	valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	valor mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio	Área total afectada (radio en metros)
Alto	832.30	456.95	644.625	256.32
Medio	456.95	52.22	254.585	70.32
Bajo	52.22	1.35	644.625	25.03

Figura. 21.

Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-N.-modelo de Gauss



Nota: En la figura 21 se observa la dirección que sigue la pluma de humo procedente de la RP-N. que corresponde a la honda de color rojo claro, además de lagunas de humo (color plomo) y dispersión de contaminantes en sus niveles altos medio y bajo (rojo, amarillo y verde).

3.2.3. PR-TR.

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la chimenea de la pollería PR-TR. De la ciudad de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8

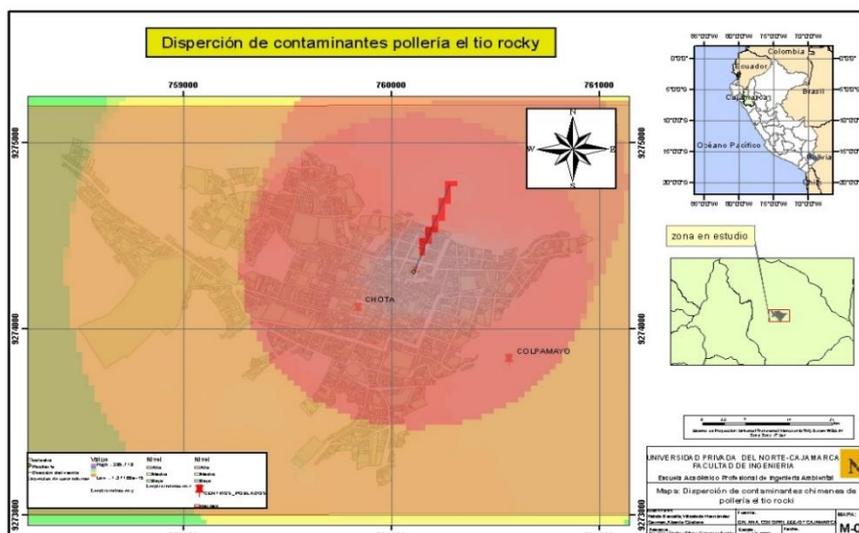
Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-TR.

Nivel	valor máximo (µg/m ³)	valor mínimo (µg/m ³)	Promedio	Área total afectada (radio en metros)
Alto	285.71	215.12	250.415	185.23
Medio	215.12	68.34	141.73	56.32
Bajo	68.34	1.27	250.415	12.24

Nota: Resultado del modelamiento en función al área afectada

Figura. 22.

Dispersión de contaminantes en la PR-TR.-modelo de Gauss.



En la figura 22 se observa la dirección que sigue la pluma de humo procedente de la pollería PR-TR. Que corresponde a la honda de color rojo claro, además de la dispersión de la misma en el ámbito de la ciudad de Chota, con una laguna de humo de color plomo.

3.2.4. PR-P.

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la chimenea de la pollería PR-P de la ciudad de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9

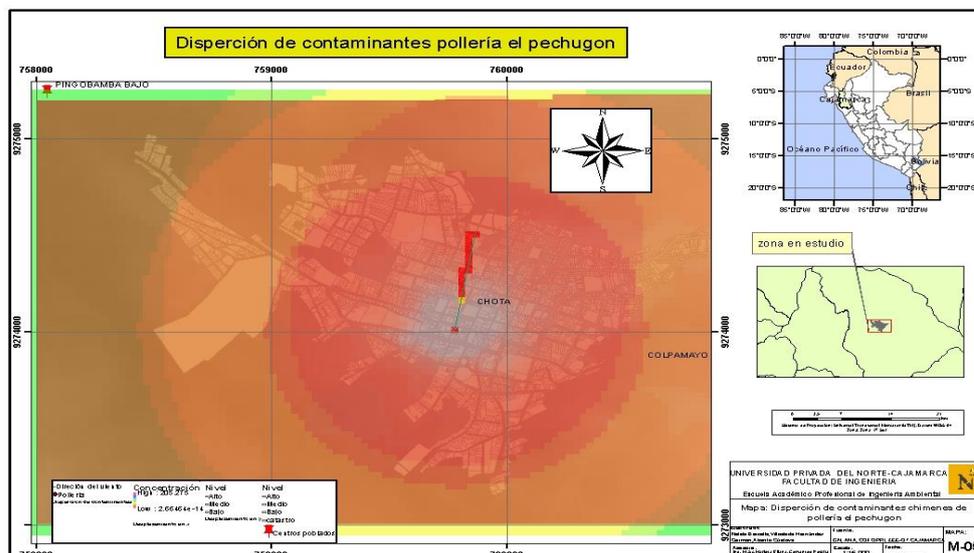
Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-P.

Nivel	valor máximo (µg/m ³)	valor mínimo (µg/m ³)	Promedio	Área total afectada
				(radio en metros)
Alto	205.27	146.51	175.89	250
Medio	146.51	22.54	84.525	123
Bajo	22.54	2.66	12.6	12

Nota: Resultado del modelamiento en función al área afectada

Figura 23

Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-P modelo de Gauss.



Nota: En la figura 23 se observa la dispersión (laguna de color plomo) y la dirección (pluma de color rojo claro) de los contaminantes de la pollería el PR-P

3.2.5. PR-L

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la chimenea de la pollería RP-L de la ciudad de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

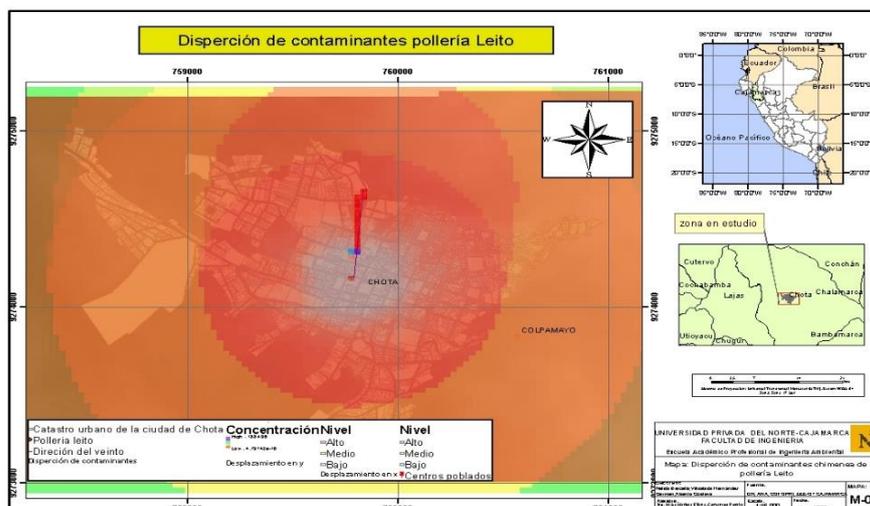
Tabla 10

Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea de la PR-L

Nivel	valor máximo (µg/m ³)	valor mínimo (µg/m ³)	Promedio	Área total afectada (radio en metros)
Alto	188.4	228.6	208.5	153.24
Medio	128.6	49.52	89.06	18.50
Bajo	49.52	4.73	27.125	8.32

Figura 24.

Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-L –modelo de Gauss



Nota: En la figura 24 se observa la dirección y dispersión de contaminantes procedente de la pollería RP - L en sus niveles alto medio y bajo, además de la dispersión de la misma en un radio que parte desde el punto emisor(chimenea), y se dispersa formando una laguna de color plomo.

3.2.6. PR-SP.

Se detalla las características fisicoquímicas de las emisiones de combustión obtenidos de la chimenea de la pollería PR-SP de la ciudad de Chota con sus respectivas medidas. Se muestra las ponderaciones para cada uno de los parámetros en estudio los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11.

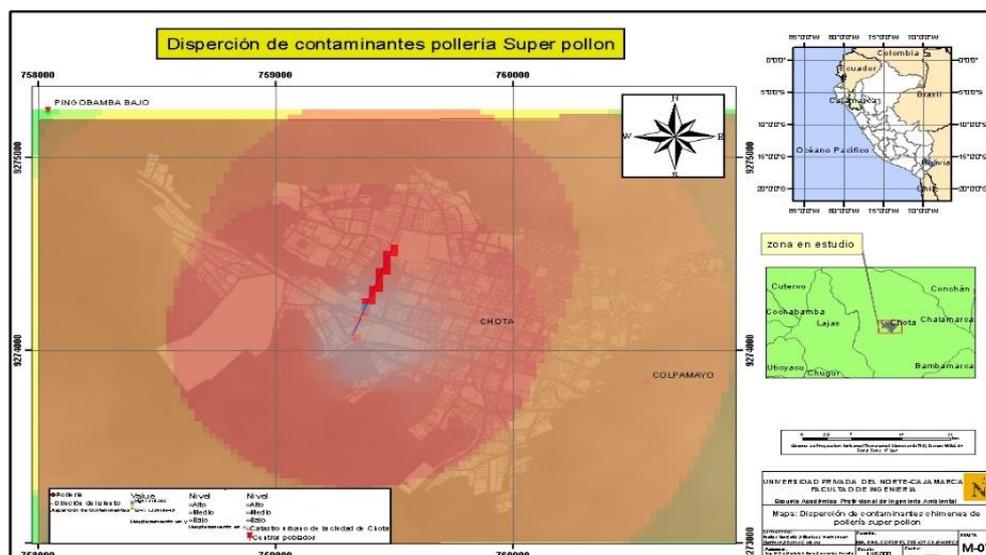
Niveles de concentración de contaminantes en la chimenea del PR-SP.

Nivel				Área total afectada
	valor máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	valor mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio	(radio en metros)
Alto	318.2	228.4	273.3	208.65
Medio	228.4	91.11	159.755	46.19
Bajo	91.11	0	45.555	10.37

Nota: Resultado del modelamiento en función al área afectada

Figura. 25.

Dispersión de contaminantes en la chimenea de la PR-SP.-modelo de Gauss



Nota: En la figura 25 se observa la dirección que sigue la pluma de humo que corresponde a la honda de color rojo claro además de la dispersión de la misma en el ámbito de la ciudad de Chota.

Tabla 12.

Análisis comparativo de los niveles de dispersión de contaminantes

Nombre de la fuente/Nivel de contaminante	Promedio de contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Alto	Medio	Bajo
PR-CC	128.83	75.08	21.21
PR-N	644.625	254.585	26.785
PR-TR	250.42	141.73	34.81
PR-P	175.89	84.53	12.6
PR-L	208.5	89.06	27.13
PR-SP	273.3	159.76	45.56

Nota: En la tabla se observa un comparativo de la emisión de contaminantes de las 6 pollerías en sus niveles altos, medio, bajo.

Tabla 13.

Concentración de contaminantes tomadas de ráster del satélite Giovanni.

Nombre de la fuente/Gases que emiten	NOX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	NO ₂			
PR-CC	109	15000	250	197
PR-N	482	18000	270	80
PR-TR	482	22000	300	176
PR-P	80	18000	320	86
PR-L	319	20000	308	139
PR-SP	133	20000	310	50

Nota: En la tabla se observa las concentraciones de gases emitidos por pollerías según LMPs de las 6 pollerías de la ciudad de Chota.

CAPÍTULO IV.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Partiendo de la identificación de las principales pollerías a través de imágenes Lansat (Figuras 12), da una idea precisa de la ubicación geoespacial de la zona de estudio, proporcionando información que puede ser claramente comprendida. Se puede verificar que cada una de las pollerías objeto de estudio se encuentran indistintamente distribuidas lo que facilita un mejor monitoreo. Los diferentes instrumentos que se han utilizado para la elaboración de los mapas como son: determinación de distancias euclidianas para determinar valores de x e y con simulación de ondas de dispersión, la dirección que sigue la pluma de humo según el modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes. (esquema estructural de la formula a través de ArcGIS) permiten caracterizar de forma precisa la dispersión de contaminantes en radios de amplitud partiendo del punto emisor y zona de estudio .Además las imágenes satelitales que nos brinda el satélite GIOVANNI-NASA nos permite estimar a través de herramientas de geoprocasamiento en ArcGIS 10.8 la concentración de los gases CO, NOX, SO₂ y PM₁₀ en sus diversos parámetros y comparar según LMP, con la finalidad de tener una mayor comprensión del fenómeno de transporte y concentración de gases en el aire.

Los resultados obtenidos a través del procesamiento de datos en el Software ArcGIS muestran la relevancia que tienen los Sistemas de información Geográfica en diversos ámbitos, como lo es en un estudio de calidad de aire de la zona urbana de la ciudad de Chota. La representación de resultados se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de cada uno de los gases y los niveles de dispersión. Los resultados son representados mediante mapas, realizado por cálculos de algebra de mapas con la ayuda del programa ArcGIS 10.8 en el cual se ejecuta con el modelo de Gauss al realizar el procesamiento de dispersión de contaminantes en amplitud y el

geoprocesamiento de las imágenes satelitales del satélite Giovanni de la NASA arroja los datos para cada parámetro evaluado los cuales se muestran en la Figura 6, figura 7, figura 8, figura 9. Como resultado del análisis geoespacial se obtuvo los diagramas de dispersión de las emisiones de contaminantes de las pollerías de la ciudad de Chota, las cuales se encuentran en la figura 13, en la figura 14, en la figura 15, en la figura 16, en la figura 17 y en la figura 18. Donde las pollerías objeto de estudio en cuanto a los niveles de dispersión de contaminantes en los niveles alto, medio y bajo; para el PR - N, 644.63, 254.59, 26.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para el PR -SP, 273.30, 159.76, 45.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el PR - TR, 250.42, 141.73, 34.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PR – P, 175.89, 84.53, 12.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el PR – L 208.5, 89.06, 27.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PR – CC con 175.89, 208.5 y 128.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dispersión de contaminantes respectivamente dichos niveles responden a concentraciones de contaminantes de NO_x (NO y NO₂), NO₂; CO, PM₁₀. De similar forma refiere Cruz (2018). En su tesis Determinación de la dispersión geográfica de los gases NO_x, CO, SO₂ y partículas (PM₁₀), emitidos por una central térmica aplicando el modelo SIG Concluye. El estudio realizado en la chimenea TG-34, se obtuvieron concentraciones de NO_x, SO₂, CO y de partículas (PM₁₀) por debajo de los límites máximos permisibles (NO_x = 125 mg/Nm³ y PM₁₀ = 50 mg/Nm³) establecidos por el Banco Mundial en junio de 1998, en el Manual de Prevención y Control de la Contaminación (Guía para Plantas Térmicas).

Como resultado final, se presentan un comparativo en cuanto a dispersión de contaminantes (Tabla 12) teniendo como base el análisis comparativo de la dispersión de contaminantes de acuerdo al modelo gaussiano de dispersión de contaminantes generados en los distintos mapas de dispersión para cada pollería y el promedio de dispersión en sus niveles alto medio y bajo por su parte la tabla 13 muestra la concentración de los gases para las 6 pollerías. Se debe aclarar que para obtener estos mapas se ha utilizado la herramienta de

análisis espacial de ArcGIS 10.8 (ESRI, 2018), y el satélite Giovanni, en la que se extraen los valores de cada contaminante mediante el uso de álgebra de mapas. Para los datos medidos además se ejecutó una interpolación con la herramienta de geoprocésamiento para obtener el formato ráster adecuado para efectuar los cálculos con el álgebra de mapas.

4.2. Conclusiones.

- Se determinó las concentraciones de gases. respecto al NO_x (NO y NO₂), para la pollería PR-N 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO y 482 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO₂ para las pollerías PR-N y PR-R CO 22000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pollería PR-TR, PM₁₀ 197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la pollería PR-CC.
- Se elaboró un modelo y simulación de dispersión de contaminantes en chimeneas de 6 pollerías de la ciudad de Chota por el método de dispersión Gaussiano utilizando Sistemas de Información Geográfica el cual nos permite determinar la dispersión de contaminantes en tres niveles; alto, medio, bajo.
- Se elaboró mapas de concentración de los gases CO, NO_x, PM₁₀ y SO₂ de la emisión de las chimeneas de 6 pollerías de la ciudad de Chota.

REFERENCIAS

- Astudillo (2012), “*Modelación de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca*. Ecuador.
- Aguilar, G.J. (2017). *Calidad de aire en Bogotá: ausencia de información y captura de dato en el 2015 por medio de análisis en un Sistema de Información Geográfica (SIG)*. Bogotá: Revista de Geografía (Recife) V. 34, No.1.
- Arenas, J. (2017). *Determinación del Material Particulado PM10 y PM2.5, Dióxido De Azufre y Dióxido de Nitrógeno en el distrito de Yura*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa
- Correa y flores. (2003). *Efecto de los pavimentos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. (Colombia): UNINCO-UNSCONICET.
- Cuadrat, J., & Pita, F. (2011). *Climatología*. Madrid, España: Ediciones Cátedra.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: 3ra Edición. Madrid: Rialp.
- Cruz, K, López, C., Saldaña, L, (2018). *Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo* disponible https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32023/cruz_ik.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Depaz (2017) “*Modelamiento de dispersión de material particulado mediante la aplicación del modelo gaussiano para determinar la zona vulnerable del sector industrial de Puente Piedra 2017*. Lima-Perú):

Gerard, K. (1999). *Ingeniería Ambiental Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. España: Mc Graw Hill Interamericana de España.

Green, J., & Sánchez, S. (2013). *La calidad del aire en América Latina: Una visión panorámica*. Washington, Estados Unidos: Edición 2012. D.C

Gobierno Regional de Cajamarca. 2016. *Zonificación Ecológica y Económica – Ordenamiento Territorial (ZEE – OT) (en línea)*. Consultado el 21 abril. 2020.
Disponibile en: <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/node/588>

Iparraguirre, A. (2016) "*Formulación de propuesta de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú*". Trujillo, Perú: UNT-Escuela de Posgrado.

Inche, J. (2004). *Gestión de la calidad del aire, causas, efectos y soluciones*. Lima:
Instituto de investigación de ingeniería industrial-UNMSM

Juárez & Osorio 2018 Modelamiento De La Dispersión Del Plomo En La Atmosfera De La Ciudad De Cajamarca, En Los Años, 2015 - 2017". Cajamarca.

Mauricio y Murga (2015) *emplearon el modelo Gaussiano para estimar las concentraciones máximas a nivel del suelo de PM10, CO, NOx, y SO2, emitidas por las chimeneas de los calderos 17 y 20 de la empresa Cartavio S.A.A*
https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3267/MauricioMelendez_J%20-%20MurgaValdez_L.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Merino, R. (2014). *Evaluación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos CO, SO2 y NOx producto del desarrollo de actividades industriales del Cantón Rumiñahui provincia de Pichincha. Tesis para la obtención del título de Ingeniería en*

Biotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la vida y la Agricultura. Sangolquí.

Miranda, A. L. (1996). *La combustión*. Barcelona, España.

MINAM (2012) *Estándares de calidad de Aire. Perú: 5 edición*

Municipalidad provincial de Arequipa. Informe técnico sobre calidad de aire 2019.

Ohio Environmental Protection Agency. (2017). *Emission Inventory System. Columbus.*

Obtenido de <http://epa.ohio.gov/dapc/aqmp/eiu/eis.aspx#126027053-mobilesources>

OMS (2004) *Guías para la Calidad del Aire*. Resumen ejecutivo.

Opazo (2011) *Distribución espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009. Santiago de Chile:*

Orozco Barrenetxea C, Pérez Serrano A, González Delgado MN, RodríguezVidal FJ & Alfayate Blanco JM. (2008). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. España:*

Raymundo J. (2017). *Conceptos para la elaboración de tesis, España: 3 edición*

Radio Programas del Perú-portal noticias 2012.

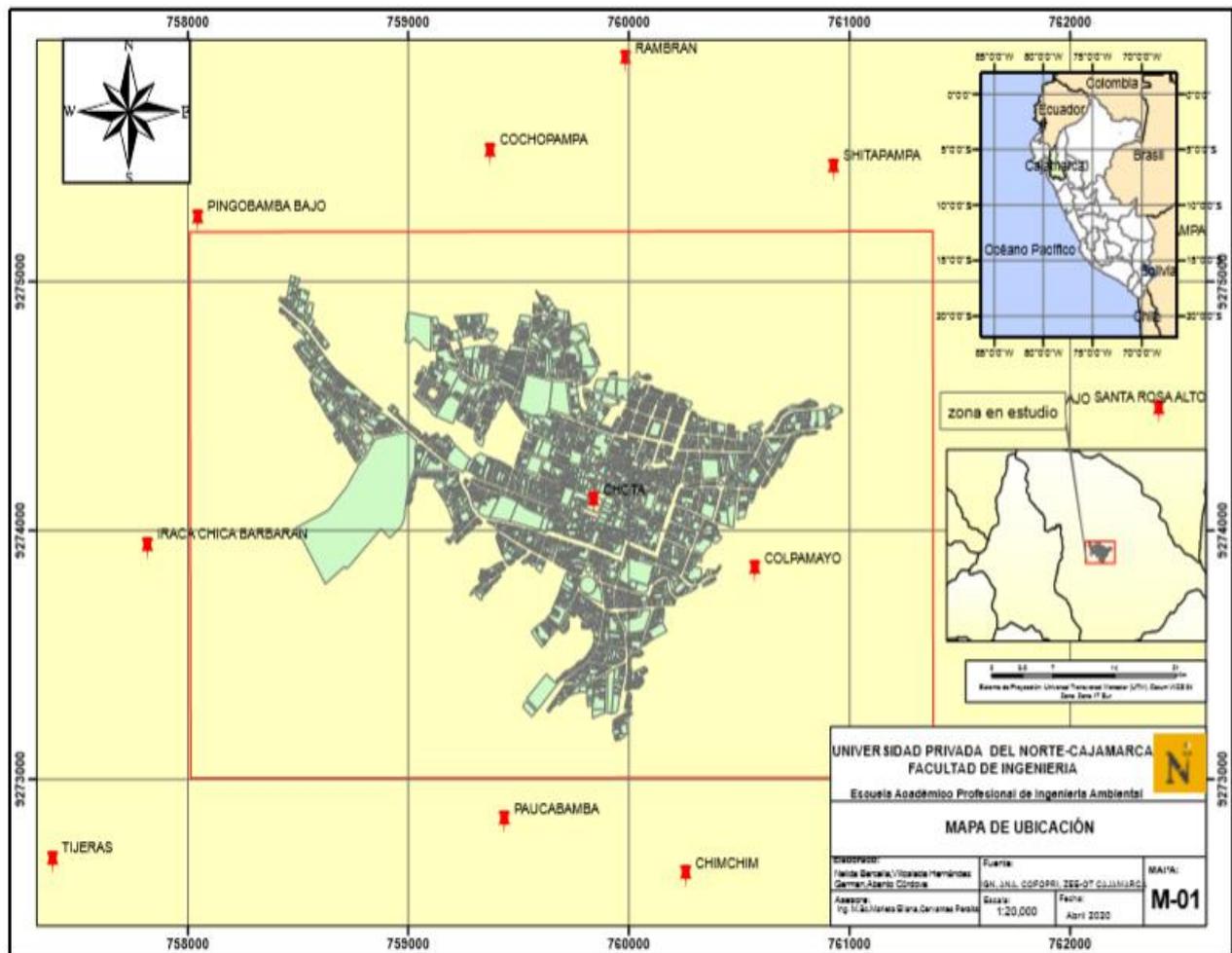
Revista de Geografía (Recife) V. 34, No. 1, 2017 Aguilar Galindo, 2017 ISSN 0104-5490
173 Web<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>.

Sánchez de la Campa, A., & De la Rosa, J. (2009). *Caracterización del material particulado. Bogotá Colombia:*

ANEXOS

ANEXO N 1

Ámbito urbano de la ciudad de Chota.



ANEXO 2

Límite Máximo Permisible para aire.

Contaminante	Fórmula/Sigla	Valor de Concentración	Período de Muestreo
Monóxido de Carbono	CO	10 mg/m ³	Media en 8 horas
		40 mg/m ³	Media en 1 hora
Dióxido de Azufre	SO ₂	80 µg/m ³	Media aritmética anual
		365 µg/m ³	Media en 1 hora
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	150 µg/m ³	Media aritmética en 24 horas
		400 µg/m ³	Media en 1 hora
Partículas Suspendidas Totales	PST	260 µg/m ³	Media aritmética en 24 horas
		75 µg/m ³	Media aritmética anual
Partículas Menores de 10 micras	PM ₁₀	150 µg/m ³	Media aritmética en 24 horas
		50 µg/m ³	Media aritmética anual

Fuente: RMCA. LEY del Medio Ambiente N° 1333.

ANEXO N 3

Matriz Operacional De Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA O UNIDAD DE MEDICIÓN
Dispersión de material particulado (independiente)	Transporte de materias solidas o liquidas dispersas y arrastradas por el aire mayores a 0.0002 µm y menores a 500 µm. tiene una vida media en suspensión que va desde unos cuantos segundos a varios meses (CENAPRED 2014).	Ingreso de data al modelo al modelo de dispersión (velocidad del viento, dirección del viento, índice de emisión, altura de chimenea y velocidad de asentamiento)	Características meteorológicas	Velocidad del viento predominante	m/s
				Dirección de viento	N, S, E y O
				Radiación solar	Cal/cm ² /h
			Parámetros de fuente emisora	Índice de emisión de partículas	g/s
				Altura efectiva de emisión	M
			Características del contaminante	Velocidad de asentamiento	(m/s)
Diámetro de partícula	(µm)				
Zona vulnerable (dependiente)	Grupo de personas que se encuentran en estado de desprotección afectadas directamente e indirectamente por las emisiones de material particulado (MINAM 2014)	Se determinará mediante la aplicación del modelo de dispersión gaussiana y comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMPs).	Concentración de material particulado	Concentración de contaminantes (LMPs RMCA. LEY del Medio Ambiente N° 1333.	µg/m ³
			Área contaminada	Coordenadas UTM (determinado por el software “ArcGIS”)	m ²

ANEXO N° 4.

Filtro antiplagio

