

Análisis de la variación en los niveles de concentración horaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$), ozono(O_3), dióxido de azufre (SO_2), y monóxido de carbono (CO) mediante una base de datos, en un periodo de 6 meses antes y durante la pandemia del SARS-CoV-2 en la ciudad de Quito

1. IDENTIFICACIÓN DEL CONTEXTO

Área: Seres humanos y contaminación

1.1 Cuestión o problema ambiental:

La contaminación y la polución del aire son causa de la producción excesiva de materiales químicos y combustión fósil. Dichos focos emisores generalmente son difusos pero persistentes en el medio ambiente, dado esto, se puede entender que el CO emitido por los carros, el dióxido de carbono generado de las fábricas, la combustión de basurales que producen metano y muchos más son la principal causa de esta contaminación. Sectores con altos índices de $\text{PM}_{2.5}$ o incluso Co, se han visto transformados haciendo que el índice de mortalidad aumente, según OPS & OMS (2014) mueren 7 millones de personas cada año, debido a que el $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y AQI (Índice de la calidad de Aire) se encuentra en niveles nocivos. Esta consecuencia también indica problemas respiratorios y pulmonares, complicaciones a nivel sanguíneo como el incremento de Cáncer a la piel y alergias mayores al SO_2 y CO.

1.2 Marco Teórico

La polución o contaminación del aire hace referencia a las materias moleculares, bacterianas, celulares y/o contaminantes que normalmente se encuentran a nivel atmosférico. Estas materias moleculares provienen por contaminaciones biológicas, pero en la mayoría de los casos el ser humano perturba el sistema al utilizar como principal fuente de energía los combustibles fósiles. Este tipo de contaminación engloba situaciones no solo medio ambientales sino también de salud pública haciendo que sus impactos sean permanentes. Mayoritariamente esta es una contaminación difusa que actúa según la procedencia del contaminante agrupándose según su estado físico y químico (Aránguez et al., 1999).

Actualmente el consumo de combustibles fósiles (tráfico rodado), producción excesiva de materiales químicos y combustión de bosques, emanan sustancias tóxicas y residuos persistentes, al ser los principales causantes de la elevación variante de la concentración de los contaminantes aéreos clasificados mediante la contaminación primaria y secundaria medida en la atmósfera urbana (Ballester, 2020). Dichas partículas antropogénicas se ven plasmadas en el Anexo 1. Como se evidencia en el anexo anterior, una de las partículas contaminantes son las $\text{PM}_{2.5}$, las cuales se caracterizan por su tamaño que no supera las 2.5 micras. Estas partículas son el

resultado antropogénico del polvo (erosión de los suelos y actividad volcánica), polen, residuos de combustión incompleta, procesos industriales o humo de tabaco (Colombia et al., 2010). Además, dentro de la clasificación de este tipo de partículas se encuentran bacterias, virus y moléculas las cuales no son perceptibles a visión humana (Ver Anexo 2). En adición, es la más severa a nivel de salud, y por ende forma parte de la contaminación principal hacia el medio ambiente y transformación de sistemas ecológicos y/o sociales (Cordero, 2019).

Por otro lado, las partículas pertenecientes al CO también forman parte de este sistema contaminante atmosférico como un gas incoloro, inodoro e insípido, menos denso que el aire. Teniendo como causas de origen el transporte vehicular y humos procedentes de combustión incompleta como el carbón, el aceite, queroseno y el propano (CPSC, 2016). Estas partículas del CO son una de las más abundantes después del CO_2 . También está presente en el sistema marino, el cual se puede descomponer y dejar persistencia química en el medio ambiente. En tercer lugar, se encuentran las partículas pertenecientes al dióxido de azufre, su origen es gracias a procesos industriales y a vehiculares como la combustión de materiales que contienen azufre como en las calefacciones, tráfico e industrias (Ver Anexo 1). Finalmente, otro contaminante son las partículas pertenecientes al Ozono como contaminación secundaria, y por la fotooxidación de los NO_x y COVs (Ver anexo 1). La mayor parte de este ozono tiene como fundamento su producción en la estratósfera, haciendo que el ozono contaminante provenga de las reacciones de niebla fotoquímica, esta concentración normalmente afecta a vegetaciones, al hombre, asfalto y neumáticos de vehículos a motor.

Por esta razón, se estima que la contaminación atmosférica por partículas causa el 1,4% de muertes mundiales entre ellas cardiopatía isquémica, accidente de cerebrovascular, neumopatía obstructiva crónica, etc. (OMS, 2014). Esta contaminación atmosférica produce un gran riesgo y vulnerabilidad para los ciudadanos y habitantes de cada ciudad y/o país. Hablando del impacto individual de cada contaminante y dependiendo de sus niveles de contaminación, se establecen rangos medidos en (AQI). En niveles desde el 0 al 50, el aire es considerado satisfactorio, de 51 al 100 existe contaminantes que afecten a un grupo pequeño de personas las cuales sean sensibles a exposiciones de dichas partículas, del 101 al 150 se puede ver que las implicaciones son más graves para el grupo más sensible ante contaminantes, dificultando su respiración y estabilidad corporal, desde el 151 al 200 se considera no saludable y toda la población empieza a experimentar consecuencias de salud, desde el 201 al 300 se considera aún más dañino debido a que se toman emergencias sanitarias y advertencias severas. Finalmente, el rango desde 300+ es mortal, toda la población experimenta cambios severos en su salud (The World Air Quality Index project, 2016).

La pandemia causada por el SARS-CoV-2 provocó un estado de emergencia sanitaria declarada el once de marzo del 2020 por el acuerdo ministerios No 00126-2020, estableciendo así un aislamiento preventivo (Comité de Operaciones de Emergencia Nacional, 2020). Durante el periodo de confinamiento por el virus SARS-CoV-2, se ha visto que los niveles de contaminación atmosférica han variado, dando como resultado una disminución en los índices contaminantes por PM_{2.5} en países como Estados Unidos (Berman & Ebisu, 2020) e India (Dhaka et al., 2020). En paralelo, las concentraciones por emisiones fósiles disminuyeron en USA (Francisco Martín León, 2020) y las concentraciones de SO₂ de igual manera disminuyeron en la ciudad de México y Lima (NU. CEPAL, 2020).

En una escala local, Quito es una ciudad que consta con el equipamiento necesario para procesar información de los sensores atmosféricos, motivo por el cual se la considera para el proceso investigativo. Esta red metropolitana de Monitoreo Atmosférico brinda la base de datos amplia para así establecer una herramienta básica de la gestión ambiental. Por otro lado, Quito es una ciudad dependiente de las condiciones y variaciones climáticas, así volviéndose más condicional respecto a las condiciones atmosféricas. Además de esto, es la única ciudad del país que tiene los 8 sensores alrededor de todo su sector, haciendo que los datos sean más confiables y verídicos con una extensa aplicación científica y de análisis. Enfocándose en la ubicación y recolección de datos en esta ciudad, cabe recalcar que las ubicaciones consideradas son: Belisario, Carapungo, el Centro, Cotocollao, El camal, Guamaní, Los Chillos y Tumbaco (Ver Anexo 3).

Por otro lado, Python es un lenguaje de programación que comprende la utilización de librerías para el procesamiento científico de datos brindados mediante archivos. Este lenguaje de programación tiene una amplia diversidad científica lo cual lo hace estar en uno de los lenguajes más utilizados para aplicaciones profesionales, por ende, aplicando para proyectos de base de datos extensas.

Tomando en cuenta el tema y la fundamentación teórica mencionada, esta evaluación interna tiene el fin de analizar la variación de la contaminación atmosférica en función de los periodos de restricción social. Con el fin de poder plantear una conclusión pertinente y eficaz para llegar a recomendaciones y conocimiento con el cual poder hacer énfasis en el impacto ambiental que el ser humano está generando. Este impacto debe ser reducido pero con equilibrio, para garantizar un futuro sustentable tanto para el medio ambiente como para el ser humano. Dicho esto, el objetivo es poder contestar a la pregunta de investigación sobre ¿Cuál es la variación existente en los niveles de concentración horaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras (PM_{2.5}), ozono(O₃), dióxido de azufre (SO₂), y monóxido de carbono (CO) mediante una base de datos, en un periodo de 6 meses antes y durante la

pandemia del SARS-CoV-2 en la ciudad de Quito, utilizando el lenguaje de programación “Python”?

1.3 Hipótesis

Hi: Existe una diferencia significativa entre los niveles de concentración horaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras (PM_{2.5}), ozono(O₃), dióxido de azufre (SO₂), y monóxido de carbono (CO) en un periodo de 6 meses antes y durante la pandemia del SARS-CoV-2 en la ciudad de Quito.

Ho: No existe una diferencia significativa entre los niveles de concentración horaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras (PM_{2.5}), ozono(O₃), dióxido de azufre (SO₂), y monóxido de carbono (CO) en un periodo de 6 meses antes y durante la pandemia del SARS-CoV-2 en la ciudad de Quito.

1.4 Identificación de variables

Tabla N °1 Cuadro de identificación de variables

Variable Independiente:	Variable Dependiente:	Variables Controladas:
El Tiempo de 6 meses antes y durante la pandemia del SARS-CoV-2.	La contaminación del aire y la polución de este. Niveles de las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras (PM _{2.5}), ozono(O), dióxido de azufre (SO ₂), y monóxido de carbono (CO)	El lugar geográfico – Centro Quito Ecuador.

1.5 Control de Variables

Tabla N °2 Cuadro de control de variables

	Variable Dependiente	Variable Independiente	Variable Controlada
Detalle	La contaminación del aire.	El tiempo antes y durante la pandemia Covid-19	Lugar Geográfico Mismo Periodo pero en 2019
Parámetro para controlar	Índice de los contaminantes: $PM_{2.5}$, SO_2 , CO , O_3	6 meses antes y durante la pandemia y restricciones aplicadas en la pandemia 2020.	Centro Quito – Ecuador. ESTACIONES DE MEDICIÓN La misma fecha de los 22 días durante la restricción pero en 2019
Unidades	AQI	Días (24H)	Antes y durante - Tiempo

2. PLANIFICACIÓN

La investigación de la pregunta de investigación se basa dentro de los siguientes parámetros, considerando el uso de información secundaria para el análisis de esta:

1. Un análisis holístico de datos secundarios considerando la concentración de $PM_{2.5}$, O_3 , SO_2 , y CO en el aire, el intervalo de año, mes y día, variación entre áreas del lugar geográfico de análisis, etc. Estos datos recopilados comprenden una extensión de 768 valores por cada sector geográfico. Es decir, se analizarán 5376 datos por cada contaminante, y en total de los 4 contaminantes serán 21504 datos por procesar. Estos datos serán conforme a los periodos establecidos.
2. Toda la información y bases de datos serán según la ubicación geográfica del país y ciudad, profundizando en el análisis en la ciudad de Quito, ubicada en Ecuador. Dentro de la ciudad se considerarán diferentes sectores tales como: Belisario, Carapungo, Centro de Quito, Cotacollao, El camal, Guamaní y Los Chillos (Ver anexo 3).

3. Para todos los datos recolectados, se establecerán gráficos de análisis propio, mediante pruebas estadísticas con el fin de poder concluir en la comprobación de hipótesis.

Las bases de datos serán obtenidas mediante el sitio web oficial de la alcaldía de la ciudad de Quito, Ecuador (Secretaría de Ambiente, 2016).

2.1 Elementos considerados para desarrollar la investigación:

Para enlistar los elementos fundamentales durante la investigación, se necesita considerar los elementos de evaluaciones de impacto ambiental. Estos elementos caracterizan:

1. El periodo pertinente para el análisis de contaminación atmosférica desde el 16 de septiembre del 2019 hasta el 18 de marzo del 2020 para el intervalo antes de la pandemia, y desde el 19 de Marzo del 2020 hasta el 19 de Septiembre del 2020 para el intervalo durante la pandemia.
2. La utilización del lenguaje de programación PYTHON 3.8 para el análisis de datos y clasificar los datos diferenciados.
3. La base de datos obtenida mediante la investigación (Secretaría de Ambiente, 2016).
4. Metodología de análisis estadístico, para comprobar la Hipótesis nula o alternativa – Wilcoxon. Esta prueba estadística fue electa gracias a que se aplica a datos de distribución no paramétrica. Con el fin de medir la variación de una media de los datos y con esto deducir la significancia de variación entre cada área seleccionada.
5. Todos los datos recolectados provienen de Secretaría de Ambiente (2016a), los cuales utilizan equipos para el análisis de gases y partículas de la REMMAQ (Ver Anexo 4).

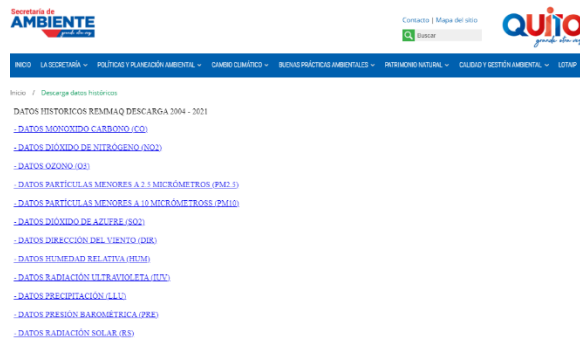
2.2 Metodología para recolección de datos

Dentro de la metodología para poder recolectar y procesar los datos se comprende la fase inicial, la cual es la obtención de datos cualitativos y cuantitativos mediante datos secundarios demográficos, de desarrollo y ambientales. En este caso, todo se fundamenta en datos sobre la contaminación del aire local. Mediante esta obtención de datos, se logrará comparar las conclusiones con investigaciones similares, con el fin de corroborar los análisis y fundamentos. Todo esto infiere en los siguientes pasos de análisis:

1. Recopilación de los datos – Investigación de bases de datos individuales por cada contaminante en cada ciudad pero solo con un periodo de 6 meses antes y durante la pandemia, no se utilizaron todos los datos que contiene la base digital.

Figura N °1 Repositorio digital de bases de Datos Quito.

Para obtener la base de datos se da clic en la pestaña que señale el nombre del contaminante. Al dar clic se descargará automáticamente el archivo de los datos brutos.

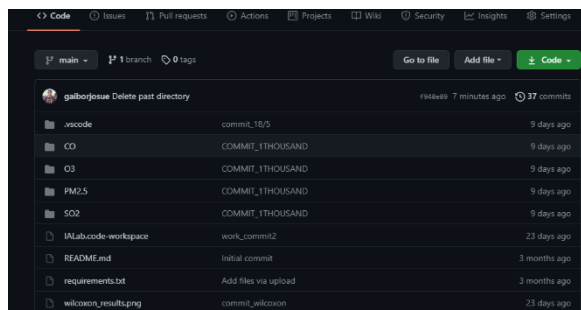


2. Creación del programa en PYTHON con el apoyo de librerías compatibles y crear el repositorio en GitHub para el sustento del código creado por autoría propia para extraer, procesar, graficar y brindar datos estadísticos descriptivos y e inferenciales.

https://github.com/gaiborjose/Contaminacion_Quito_Python

Figura N °2 Repositorio en GitHub para el código y los resultados.

Dentro de cada carpeta se pueden evidenciar los gráficos y códigos.



3. Determinar las técnicas analíticas para de esa manera sustentar la elección de datos mediante el uso de hojas de cálculo y el lenguaje de programación.
4. Test Kolmogórov-Smirnov para comprobar la homogeneidad de los datos procesados y determinar la elección correcta.

5. Determinar la prueba estadística que se va a desarrollar para responder a la pregunta de investigación, en este caso será de Wilcoxon.
6. Utilizar la prueba estadística de Wilcoxon para demostrar el nivel de significancia entre las variables del estudio.
7. A partir de los resultados concluir y analizar los datos, denotando la variación o significancia sobre el tema de investigación.
8. Generar gráficas de barras y de dispersión para optimizar el análisis visual de los resultados, así pues realizar una diferencia de medias aritméticas con la finalidad de comprender la variación exacta entre cada contaminante.
9. En base a cada contaminante generar deducciones de posibles fuentes para poder recomendar acciones que disminuyan la presencia de estas partículas “pesadas” en el aire como contaminación.

3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

3.1 Desarrollo de un método de obtención de datos:

Dentro de la metodología de recopilación de datos, se establece la fuente bibliográfica principal (Secretaría de Ambiente, 2016a), dentro de la cual se encuentran todas las bases de datos consideradas para el procesamiento de estos entre un intervalo de 6 meses desde el 16 de Septiembre del 2019 hasta el 18 de Marzo del 2020 para el intervalo antes de la pandemia, y desde el 19 de Marzo del 2020 hasta el 19 de Septiembre del 2020 para el intervalo durante la pandemia y con los datos distribuidos por hora. Además, también, esta obtención de datos y de su procesamiento se enfoca en la utilización de Python como una herramienta estadística para cumplir con este objetivo. Debido a que se está trabajando con cifras mayores, es decir, con bases de datos por análisis histórico, el número total de muestras van a ser 32, 8 distribuidas respectivamente en cada análisis individual de la partícula específica (CO, PM 2.5, O₃, SO₂). En total se procesarán alrededor de 35512 datos mediante el lenguaje de programación. Lo cual demuestra una gran amplitud para poder establecer correlaciones entre el antes y durante de la contaminación. Dejando como resultado, la determinación de la prueba estadística de Wilcoxon, debido a que es aplicable para más de 30 datos, a diferencia de la prueba de T-Student y también ayuda a determinar si la diferencia entre muestras es estadísticamente significativa.

En base a los resultados obtenidos con una significancia de 0.05, Belisario si tuvo una diferencia significativa en todos los contaminantes estudiados, por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza gracias a que su P-valor es menor a $\alpha = 0.05$. Esta diferencia significativa establece que sus niveles de contaminación durante las restricciones salubres si fueron notables y la contaminación fue menor que 6 meses antes de la pandemia y sus respectivas restricciones. Lo mismo sucede con Carapungo. Sin embargo, el sector Centro de Quito sus P-

valores de CO, PM_{2.5}, y O₃ si disminuyeron con una significancia menor a α , pero en el contaminante SO₂, su P-valor es muy superior al resto lo cual denota que sus niveles de contaminación no cambiaron de una manera drástica, pero aun así existió una diferencia. El sector de los Chillos (Quito) tan solo tuvo una disminución del 50% de los contaminantes, mientras que la otra mitad no disminuyó ni tuvo diferencia significativa. La ciudad de los Cotacollao sigue la tendencia principal de disminuir sus niveles en contaminación, es decir, el índice de P-valor es menor a α . Por ende, es pertinente rechazar la hipótesis nula para todos los contaminantes en este sector de la ciudad. En sexto lugar, en el sector de El Camal solo 3 de los 4 contaminantes disminuyeron significativamente, mientras que el Ozono no cambió de la misma manera. Mediante lo cual se aprueba la hipótesis para este contaminante, y se la rechaza en el caso del CO, el SO₂ y el PM_{2.5}. En séptimo lugar, en la ciudad de Guamaní se denota el mismo comportamiento que El Camal, a diferencia de que el contaminante que no disminuyó fue el CO. Finalmente, para la ciudad de Tumbaco Quito, los cambios en la contaminación fueron notables, y todos los contaminantes disminuyeron significativamente durante la pandemia. Para poder visualizar los datos de cada contaminante en todo el periodo establecido se sugiere visualizar el **Anexo 5** y con la finalidad de evidenciar los resultados estadísticos con la prueba de Wilcoxon en la **Tabla N °3**.

Tabla N °3 Resultados del estadístico Wilcoxon.

[illegible]

Mediante la **Figura N °3** y la **Tabla N °4** se deduce que el sector de la ciudad de Quito con mayor disminución general de los 4 contaminantes es: El centro de la ciudad, al tener un promedio del estadístico de 2903671.5, considerando que mientras menor sea el estadístico pues tiene una mayor diferencia significativa en contaminación. Este promedio se realizó con una media aritmética entre los estadísticos de cada localidad, ya que el estadístico no es paramétrico. Para resumir la información, las medias aritméticas se presentan en la Tabla N °4. Por otro lado, la presentación visual del estadístico diferencial para cada localidad se presenta en la **Figura N °3**. ara respaldar las conclusiones o análisis de datos se recomienda referirse al **Anexo 6**.

Tabla N °4

Promedios de los estadísticos Wilcoxon en cada sector de la ciudad de Quito.

Belisario	Carapungo	Centro	Chillos	Cotocollao	El Camal	Guamaní	Tumbaco
321490	41309	29036	329061	146386	13370	129726	142
0.63	22.5	71.5	3.13	04.5	153	56.5	412
							54.5

Figura N °3

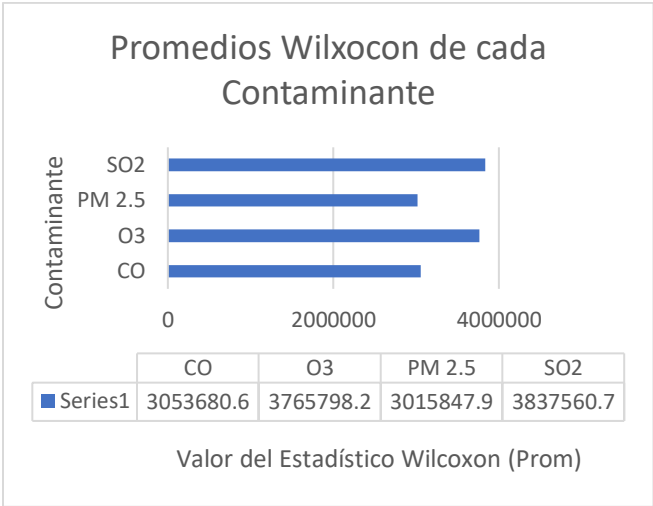
Presentación de los Resultados del estadístico Wilcoxon sobre las muestras obtenidas.



Con base en la **Figura N °4** se llega a la conclusión de que el procesamiento de datos resultó en una disminución mayoritaria de contaminación del PM _{2.5} considerando todos los sectores de Quito. Es decir, lo que se realizó fue generar promedios del estadístico Wilcoxon de cada sector, y se agrupó por contaminante, dando así pues la deducción establecida anteriormente.

Figura N °4

Gráfica de barras sobre los promedios de los estadísticos Wilcoxon de cada contaminante atmosférico considerado para el estudio.



Para conyugar los resultados demostrados en el Anexo 6 refiérase a la **Tabla N °5** en la cual se especifica los porcentajes de disminución o incremento específicos por cada contaminante generalizando toda la ciudad de Quito, es decir, trabajando con medias aritméticas de los datos individuales de cada localidad se calculó las diferencias entre cada contaminante.

Tabla N °5 Porcentajes de aumento o disminución por cada contaminante dentro del periodo establecido.

Contaminante	Porcentaje de incremento (+) o disminución (-) de la contaminación
CO	-20.02%
O ₃	+12.00%
SO ₂	-30.24%
PM _{2.5}	-13.24%

La Tabla N °5 muestra que un 75% de los contaminantes considerados para el estudio tuvieron una disminución a lo largo del periodo considerado, es decir 3 de los 4 contaminantes, excepto un 25% el cual es el Ozono. Este contaminante no disminuyó, más bien incrementó en un 12% durante las restricciones por la pandemia mundial. Lo cual nos da a entender que como justificado inicialmente el Ozono proviene de la contaminación por tubos de escape, chimeneas, extracción de petróleo y gas entonces esta producción no tuvo un freno radical, más bien fue gradual. Si nos enfocamos específicamente en este contaminante según el Anexo 6, las únicas ciudades en las que el Ozono si disminuyó fueron Cotocollao, Guamaní y Tumbaco. Así también, para ver la disminución en concentraciones µg/m³ referirse al Anexo 7.

4. DISCUSIÓN Y EVALUACIÓN

Según el artículo universitario publicado por Zalakeviciute (2020) está de acuerdo en que la contaminación atmosférica específica por $PM_{2.5}$ disminuyó y por ende la calidad de aire mejoró con la cuarentena a causa del coronavirus COVID-19. Por otro lado, asimismo Dávalos (2020) asegura que aunque en las últimas etapas de las restricciones el aumento vehicular fue inevitable, existe una cantidad de personas considerable que ha adaptado otro estilo de vida, es decir, optar por el uso de la bicicleta lo cual también aporta a la disminución de la contaminación atmosférica por parte del CO. Así también en contraste, la metodología de mis resultados fueron distintos a los que Zambrano-Monserrate & Ruano (2020) deduce dentro de su publicación, gracias a que dentro de esta tesis se utiliza el estadístico paramétrico T-Student, y como ya discutido en la metodología T-Student es solo para muestras máximas de 30 datos. Aunque esta tesis trabaja solo el mes de Marzo (considera 30 datos) el análisis mediante este estadístico no es pertinente gracias a que como se demostró, la contaminación varió durante todo el proceso de restricciones, es decir, no tuvo una tendencia definida desde el comienzo de la pandemia. Aparte de este contraste, este informe exploratorio indica resultados que sustentan los obtenidos en esta investigación, gracias a que de igual manera deduce que contaminantes como $PM_{2.5}$ disminuyeron en dicho periodo, y el Ozono incrementó en ciertas localidades de la ciudad. Tras procesar los datos brutos y encontrar el estadístico de Wilcoxon, esta interpretación ha indicado que si existió una diferencia de contaminación atmosférica, pero así también se demuestra que en la ubicación con mayor diferencia o disminución de contaminación fue el Centro de Quito ya que fue la más impactada por las restricciones sociales. El centro de Quito al ser una ubicación con gran movimiento de mercadeo y negocio tanto a nivel turístico como local ha disminuido su contaminación gracias a las restricciones de movilidad por cuarentena gracias a que estos movimientos económicos y de transportación han frenado radicalmente gracias a que todos los lugares turísticos han cerrado lo cual indicó menos consumo y menos contaminación del aire.

Pero aun así, existió una disminución de la contaminación atmosférica durante la pandemia (refiérase a la Tabla N °5), lo cual indica que las restricciones en la mayoría de las ubicaciones y contaminantes si aportaron no solo al cuidado social, sino también al ambiental. Una ambigüedad existente en la localidad de los Chillos con el contaminante $PM_{2.5}$ fue causada ya que la base de datos tenía menos datos en esta localidad, por lo que en el resultado la confiabilidad de aprobación de la hipótesis es menor. Ya que es un caso minoritario se lo puede considerar un caso atípico.

Además, los resultados planteados se ajustan mayoritariamente o de una manera fuerte a los planteamientos teóricos de las hipótesis, gracias a que se estableció su relación respectiva guiada en la aprobación mediante el estadístico utilizado, aprobando pues la hipótesis nula de que la relación si fue

significativa y la diferencia notable en los periodos establecidos.

4.1. Evaluación

Para la evaluación de los procedimientos realizados es pertinente mencionar que como establecido anteriormente la base de datos del municipio local de la ciudad de Quito es carente de datos, lo cual me obligo a tener que extrapolar los datos nulos y así pues tener resultados confiables. Este procedimiento y extrapolación de los datos es evidente en el recurso o repositorio establecido en la planificación del procedimiento. Los puntos débiles como por ejemplo la ubicación y los datos recopilados en los Chillos $PM_{2.5}$ indican una carencia de resultados debido a la falta de datos, por ende, la mejora evidente es poder obtener más datos en función del tiempo, pero para este procedimiento no se pudo mejorar gracias a que eran datos históricos. Además, la base de datos de Quito y Cuenca son las únicas en el país, y por ende, esto también puede ser una mejora, al generar más bases de recopilación de datos con el fin de estudiar la contaminación atmosférica. En el caso de repetir la práctica, procesamiento, investigación e interpretación de los resultados lo que se podría mejorar es en primer lugar hacer que el código utilizado sea más eficiente en cuestión de la rapidez del procesamiento de los datos, tal vez utilizar Jupyter Notebooks en lugar de scripts. Por otro lado, también sería importante analizar más posibilidades de estadísticos no paramétricos para analizar las diferencias de promedios, y así poder analizar cuál sería el más adecuado para la interpretación a mayor profundidad de la que se adjuntó en esta evaluación. Esto en general puede dar una perspectiva más extensa para comprobar los datos.

5. Justificación y Aplicación

En base a los hallazgos del estudio se puede mencionar que la solución presente a la cuestión ambiental es aumentar las restricciones de transportación o aglomeraciones, por ejemplo el conocido “Hoy no circula” en la ciudad de Quito. Esta restricción consta en distribuir la circulación de transporte durante la semana con base al número de placa en el vehículo. Esto se puede fomentar en todas las ciudades del país, es factible ya que no solo evita la contaminación ambiental, sino que también descongestiona el tránsito en la ciudad y es un ingreso económico al municipio local gracias a que fomenta el uso del transporte público. Es decir, la metodología muestra como la pandemia ha impactado las emisiones de contaminación, lo cual significa que mientras más restringimos los transportes no amigables con el medio ambiente por ejemplo los carros, los autobuses, las motocicletas o cualquier herramienta con base de productos petroleros entonces más aportaremos al cuidado ambiental. Esta solución vela por reemplazar dichos transportes por energía renovable como la solar. Para finalizar, podemos ver como al frenar una acción que parecía inherente hemos causado una diferencia notable en la contaminación por lo que la recomendación principal es el uso de bicicletas y promover la propuesta de socialización de educación ambiental.

Bibliografías:

Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N.,

Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I.

(1999). Contaminantes atmosféricos y su

vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2).

<https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200003>

Ballester, F. (2020). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175. Retrieved from

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005

Berman, J. D., & Ebisu, K. (2020). Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 739, 139864.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139864>

Colombia, Q., Parra, A., Vargas, Q., Juliana, M., Martínez, H., & Antonio, J. (2010). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/903/90315226007.pdf>

Comité de Operaciones de Emergencia Nacional. (2020, marzo). *Informe de situación COVID-19 Ecuador* (N.º 001). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/Informe-de-Situaci%C3%B3n-No001-Casos-Coronavirus-Ecuador-12032020.pdf>

CPSC. (2016, June 13). Monóxido de Carbono - Preguntas y Respuestas. Retrieved January 10, 2021, from CPSC.gov website: <https://www.cpsc.gov/es/Safety-Education/Centro-de-informacion-seguridad/Carbon-Monoxide-Info-Center-Spanish/Monoxido-de-Carbono---Preguntas-y-Respuestas/>

Dhaka, S. K., Chetna, Kumar, V., Panwar, V., Dimri, A. P., Singh, N., ... Hayashida, S. (2020). PM_{2.5} diminution and haze events over Delhi during the COVID-19 lockdown period: an interplay between the baseline pollution and meteorology. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70179-8>

Dávalos, N. (2020). *La contaminación del aire en Quito se redujo un 70% en el confinamiento*. Primicias.

<https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/contaminacion-aire-quito-redujo-confinamiento/>

Francisco Martín León. (2020, March 24). Leve reducción de las concentraciones de CO₂ por coronavirus. Retrieved January 10, 2021, from Tiempo.com | Meteored website: <https://www.tiempo.com/ram/leve-reduccion-de-las-concentraciones-de-co2-por-coronavirus.html>

Israel Adalla Cordero. (2019, May 15). ¿Cuál es el impacto de las partículas PM_{2.5} en la salud? Retrieved January 10, 2021, from Noticieros Televisa website: <https://noticieros.televisa.com/videos/cual-es-el-impacto-de-las-particulas-pm2-5-en-la-salud/>

NU. CEPAL. (2020). *Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina* | Publicación | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45839-efectos-cuarentenas-restricciones-actividad-relacionadas-covid-19-la-calidad>

OPS, & OMS. (2014). OPS/OMS | OMS estima que 7

millones de muertes ocurren cada año debido a la

contaminación atmosférica. Retrieved May 19, 2021,

from Pan American Health Organization / World

Health Organization website:

https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica

[tent&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[annually-linked-air-](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[40paho.org-](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%2](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[0muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contamin](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

[aci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=mediateam%40paho.org-.OMS%20estima%20que%207%20millones%20de%20muertes%20ocurren,debido%20a%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica)

Pathak, P. (2020). *Google Colaboratory*. air_pollution.ipynb. Recuperado 16 de diciembre de 2020, de <https://colab.research.google.com/drive/1RCokeSO>

[WUKv-89h-wBuBc3SFajVs6DCP#scrollTo=bVdxUS3rrPJt](#)

pyGuru. (2020). 21 day Lockdown Air quality data analysis | pyProj | python | #pyGuru [YouTube Video]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=PvW79cb6ZW0>

Secretaría de Ambiente. (2016a). Descarga datos históricos.

Retrieved February 10, 2021, from

Quitoambiente.gob.ec website:

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/descarga-datos-historicos>

Secretaría de Ambiente. (2016b). Generalidades. Retrieved

February 10, 2021, from Quitoambiente.gob.ec

website:

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/generalidades>

The World Air Quality Index project. (2013, 2 febrero). *Why*

is PM2.5 often higher than PM10? Is PM10 still a relevant measure? aqicn.org.

<https://aqicn.org/faq/2013-02-02/why-is-pm25-often-higher-than-pm10/>

The World Air Quality Index project. (2015, 15 marzo). *A*

Beginner's Guide to Air Quality Instant-Cast and Now-Cast. aqicn.org. [https://aqicn.org/faq/2015-03-](https://aqicn.org/faq/2015-03-15/air-quality-nowcast-a-beginners-guide/)

[15/air-quality-nowcast-a-beginners-guide/](https://aqicn.org/faq/2015-03-15/air-quality-nowcast-a-beginners-guide/)

The World Air Quality Index project. (2016, 10 agosto).

Ozone AQI Scale update. aqicn.org.

<https://aqicn.org/faq/2016-08-10/ozone-aqi-scale-update/>

The World Air Quality Index project. (s. f.). *Chengdu PM2.5*

main AQI update: Comparative PM2.5 data for 2 measurement stations in Chengdu. aqicn.org.

Recuperado 16 de diciembre de 2020, de

<https://aqicn.org/faq/>

Zalakeviciute, R. (2020). *El aire de Quito mejora con la cuarentena a causa del Coronavirus COVID-19 - Universidad de Las Américas.* Universidad de Las Américas. <https://www.udla.edu.ec/2020/03/18/el-aire-de-quito-mejora-con-la-cuarentena-a-causa-del-coronavirus-covid-19/>

Zambrano-Monserrate, M. A., & Ruano, M. A. (2020). Has air quality improved in Ecuador during the COVID-19 pandemic? A parametric analysis. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 13(8), 929–938. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00866-y>

Anexos

Anexo 1

Tabla 1

Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes

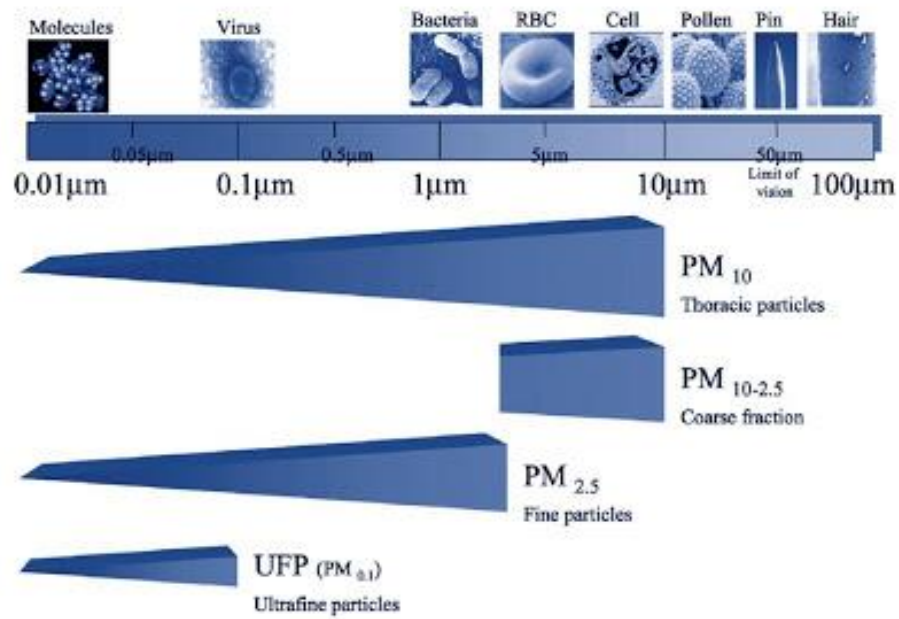
Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

PM₁₀: partículas con un diámetro inferior a 10 µm

NO_x: óxidos de nitrógeno

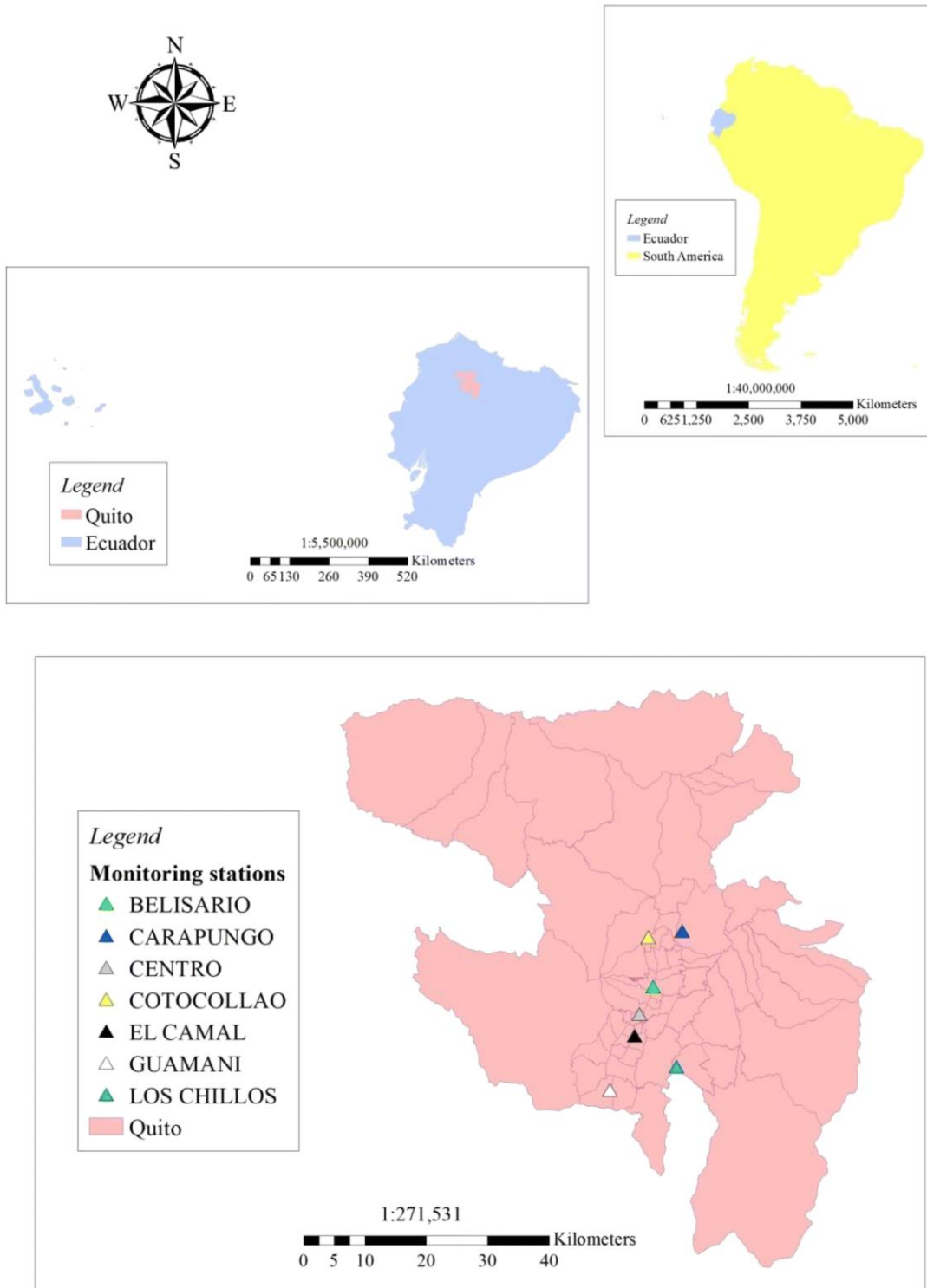
Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes - (Ballester, 2020)

Anexo 2



Clasificación del material particulado en la atmósfera urbana - (Linares & Díaz, 2008)

Anexo 3



Ubicación del lugar enfocado para el estudio - (Zambrano-Monserrate & Ruano, 2020)

Anexo 4

Tabla 1. Detalle de los analizadores de gases y partículas de la REMMA - (Secretaría de Ambiente, 2016b)

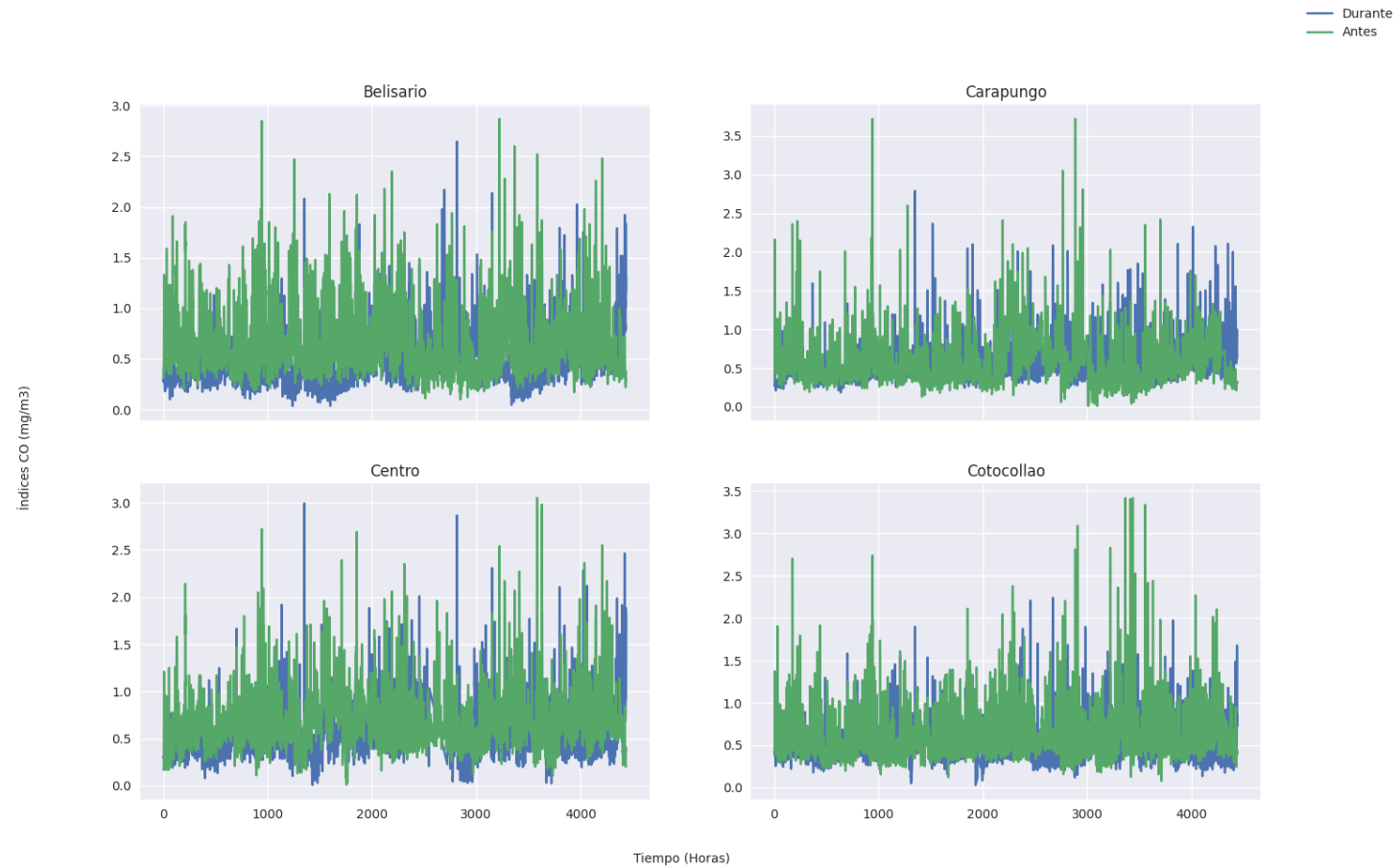
Contaminante	Número Equipos	Ubicación	Método de medida o principio de operación	Marca y modelo
Material particulado PM10	4	Tum, Gua, Car, Sap	Atenuación de rayos beta (Método equivalente para PM10 EPA No. EQPM-1102-150)	Thermo Scientific/FH62C14
Material particulado PM2.5	6	Bel, Cam, Cen, Cot, Car, Sap	Atenuación de rayos beta (Método equivalente para PM10 EPA No. EQPM-1102-150)	Thermo Andersen / FH62C14
Dióxido de azufre (SO2)	7	Bel, Cam, Cen, Tum, Cot, Car, Chi	Fluorescencia por pulsos de luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQSA-0486-060)	THERMO 43C / 43i
Dióxido de azufre (SO2)	2	Laboratorio Estándares, E. móvil	Fluorescencia ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQSA-0495-0100)	TELEDYNE API / T100
Ozono (O3)	10	Bel, Cam, Cen, Tum, Chi, Cot, Car, Gua, Jip*, Lab. Electrónico	Absorción de luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQOA-0880-047)	THERMO 49C / 49i
Ozono (O3)	2	Laboratorio Estándares, E. móvil	Absorción de luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQOA-0992-087)	TELEDYNE API / T400
Óxidos de nitrógeno(NOx)	8	Bel, Cam, Cen, Cot, Car, Gua, Jip, Chi	Quimiluminiscencia Método de referencia EPA No. RFNA-1289-074)	THERMO 42C / 42i
Óxidos de nitrógeno(NOx)	2	Laboratorio Estándares, E. móvil	Quimiluminiscencia(Método de referencia EPA No. RFNA-1194-099)	TELEDYNE API / T200
Monóxido de carbono(CO)	8	Bel, Cam, Cen, Cot, Car,	Absorción infrarroja no dispersiva (Método de	THERMO / 48C / 48i

		Gua, Jip, Lab. Electrónico	referencia EPA No. RFCA-0981-054)	
Monóxido de carbono(CO)	2	Laboratorio Estándares, E. móvil	Absorción infrarroja no dispersiva (Método de referencia EPA No. RFCA-1093-093)	TELEDYNE API/T300
Multicalibrador (SO2, NOX, CO, O3)	12	Bel, Cam, Cen, Tum, Chi, Cot, Car, Gua, Jip, Lab. Electrónico, E. móvil	Principio de operación: Dilución de gases, aire cero con un material de referencia certificado (contaminante de concentración conocida).	THERMO/ 146C / 146i
Multicalibrador (SO2, NOX, CO, O3)	1	Laboratorio Estándares	Principio de operación: Dilución de gases, aire cero con un material de referencia certificado (contaminante de concentración conocida).	TELEDYNE API/ 700E
Generador Aire Cero	12	Bel, Jip, Cam, Cen, Tum, Chi, Cot, Car, Gua, Lab. electrónico, E. móvil	Principio de operación: Filtración de aire comprimido por medio de carbón activado y purafill, y calentamiento para oxidación.	THERMO / 111
Generador Aire Cero	1	Lab. Estándares Jipijapa	Principio de operación: Filtración de aire comprimido por medio de carbón activado y purafill, y calentamiento para oxidación.	ECOTECH / HTO-1000HC
Estación portátil para monitoreo de CO, SO2, NO2, O3 , PM2.5, humedad relativa y temperatura del aire	1	Lab. Electrónico	Principio de operación: Gas Sensitive Semiconductor (GSS) Gas Sensitive Electrochemical (GSE)	AQM60
Sistema Blade, con 5 servidores físicos	1	Centro de Datos	Virtualizado para instalar los servidores de: comunicaciones, bases de datos, web explotación, índice quiteño calidad del	>HP C-3000

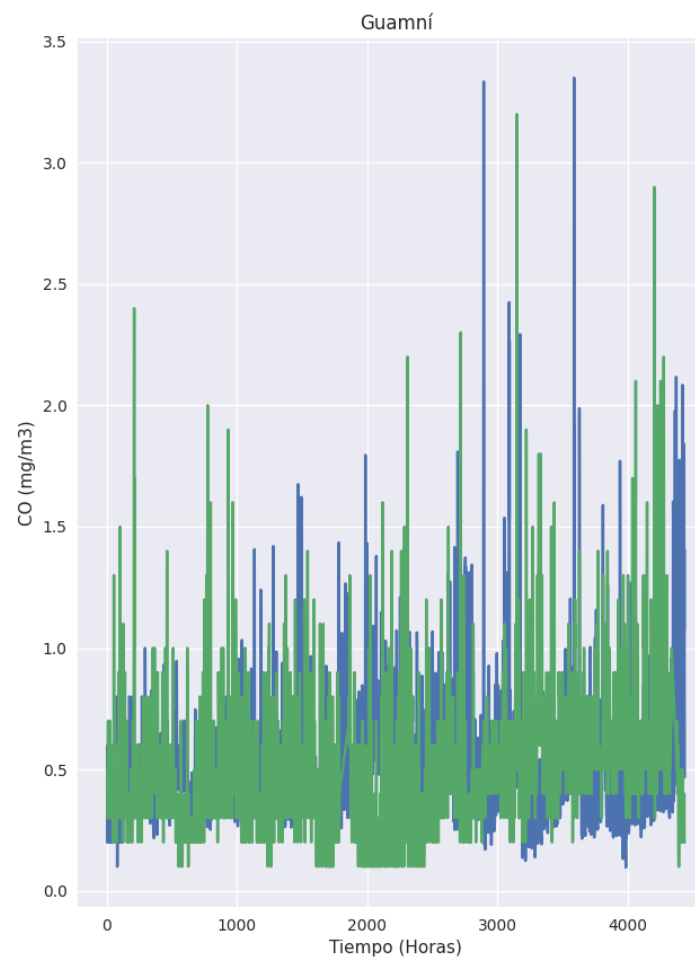
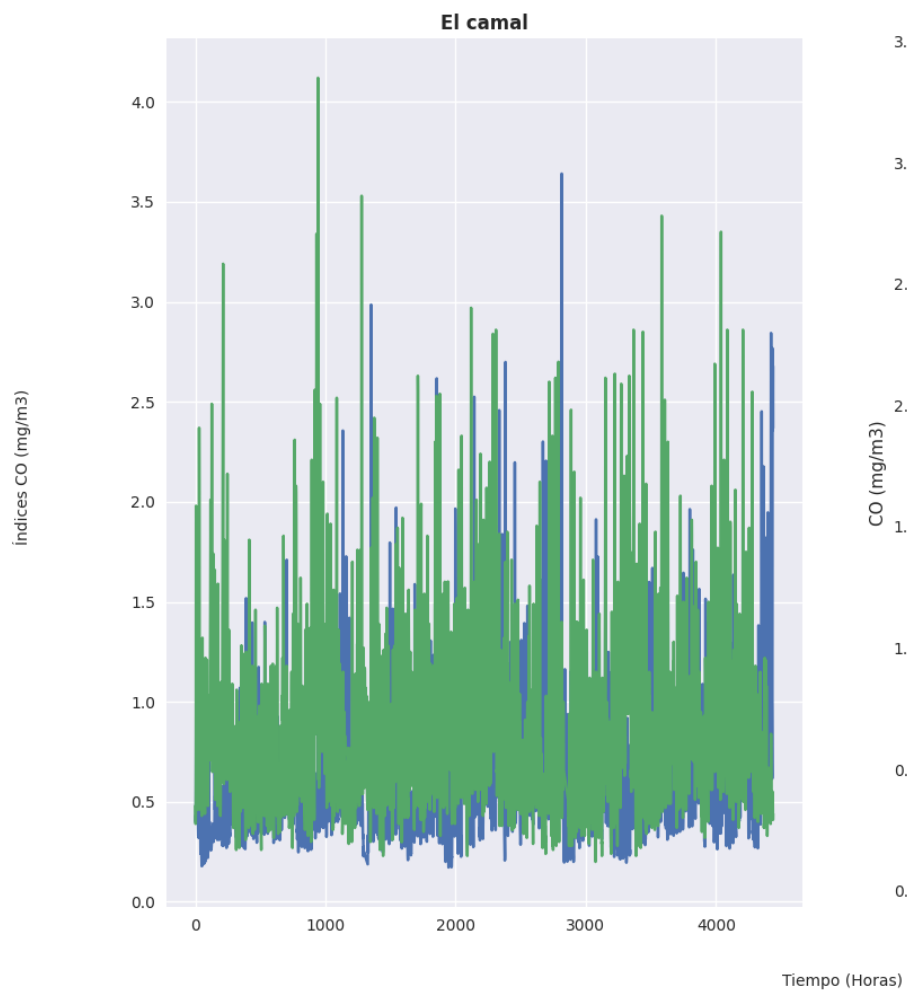
			aire, proxy, respaldos, correo, envío de alarmas, web.	
Sistema Almacenamiento, con capacidad de 9.6 TB.	1	Centro de Datos	Almacenamiento de información de Analizadores de Gases, Meteorología, bases de datos y sistemas que utiliza la REMMAQ y la Secretaría de Ambiente.	HP P2000
Librería Cintas para 24 cintas de (1.5 TB) con tecnología LTO-4 y LTO-5	1	Centro de Datos	Respaldos de información y sistemas	HP M5L2024

Anexo 5

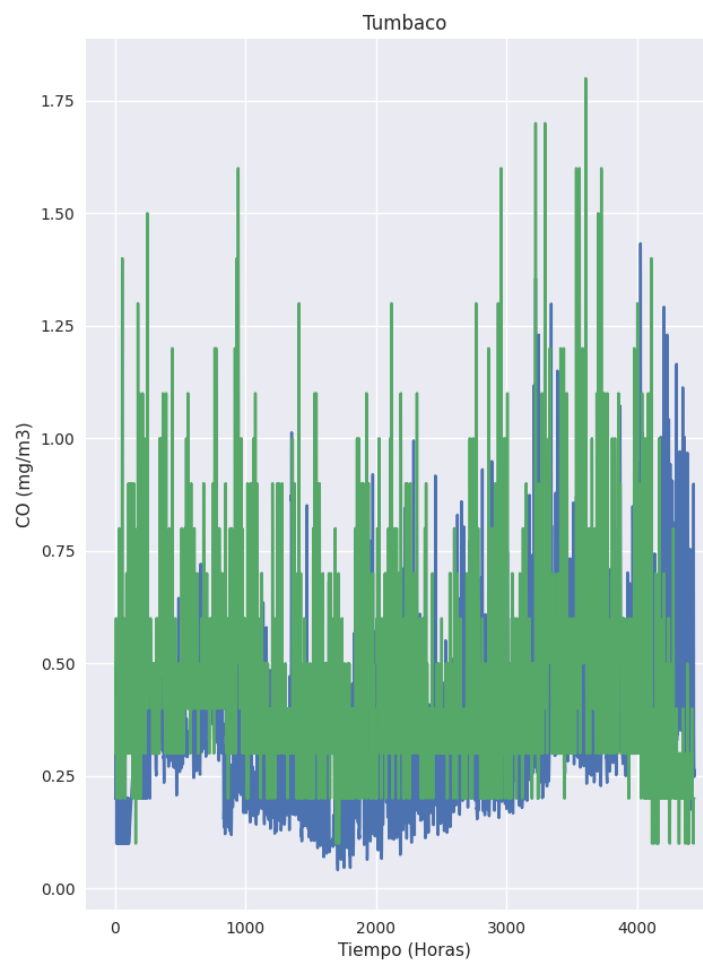
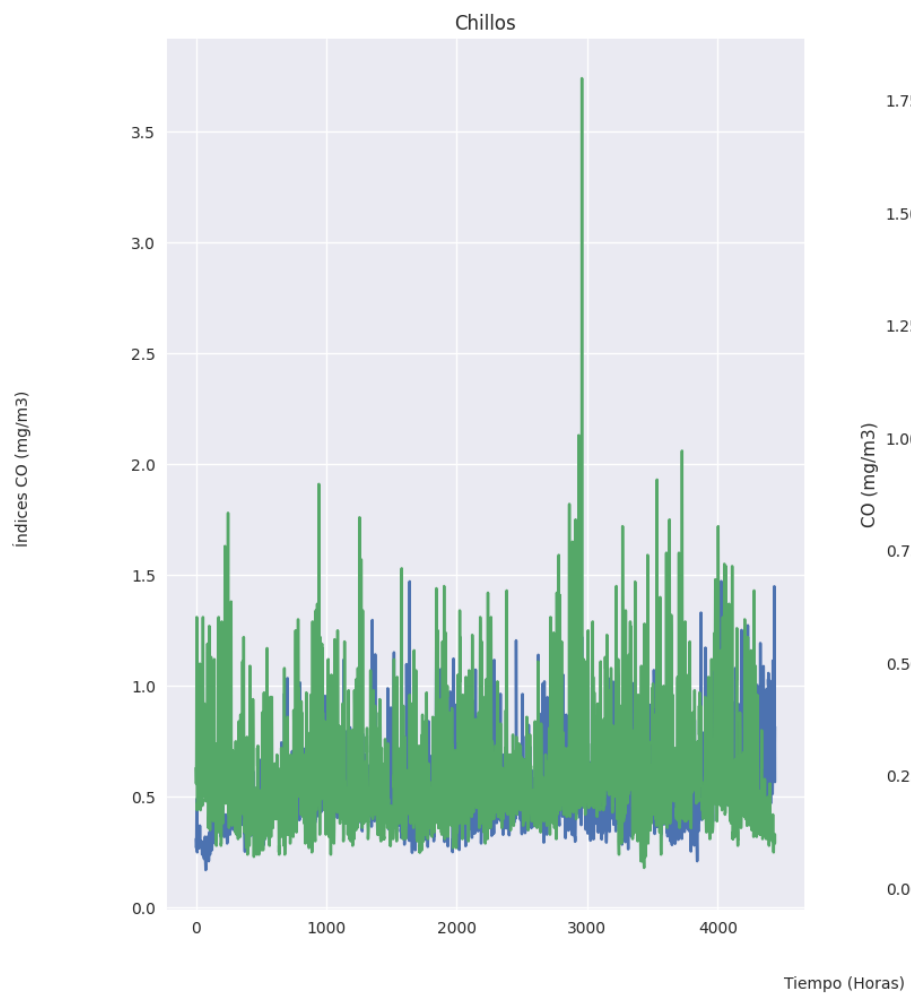
Gráficas de dispersión para representar la contaminación específica del Monóxido de Carbono en las ciudades de Quito durante el periodo establecido:



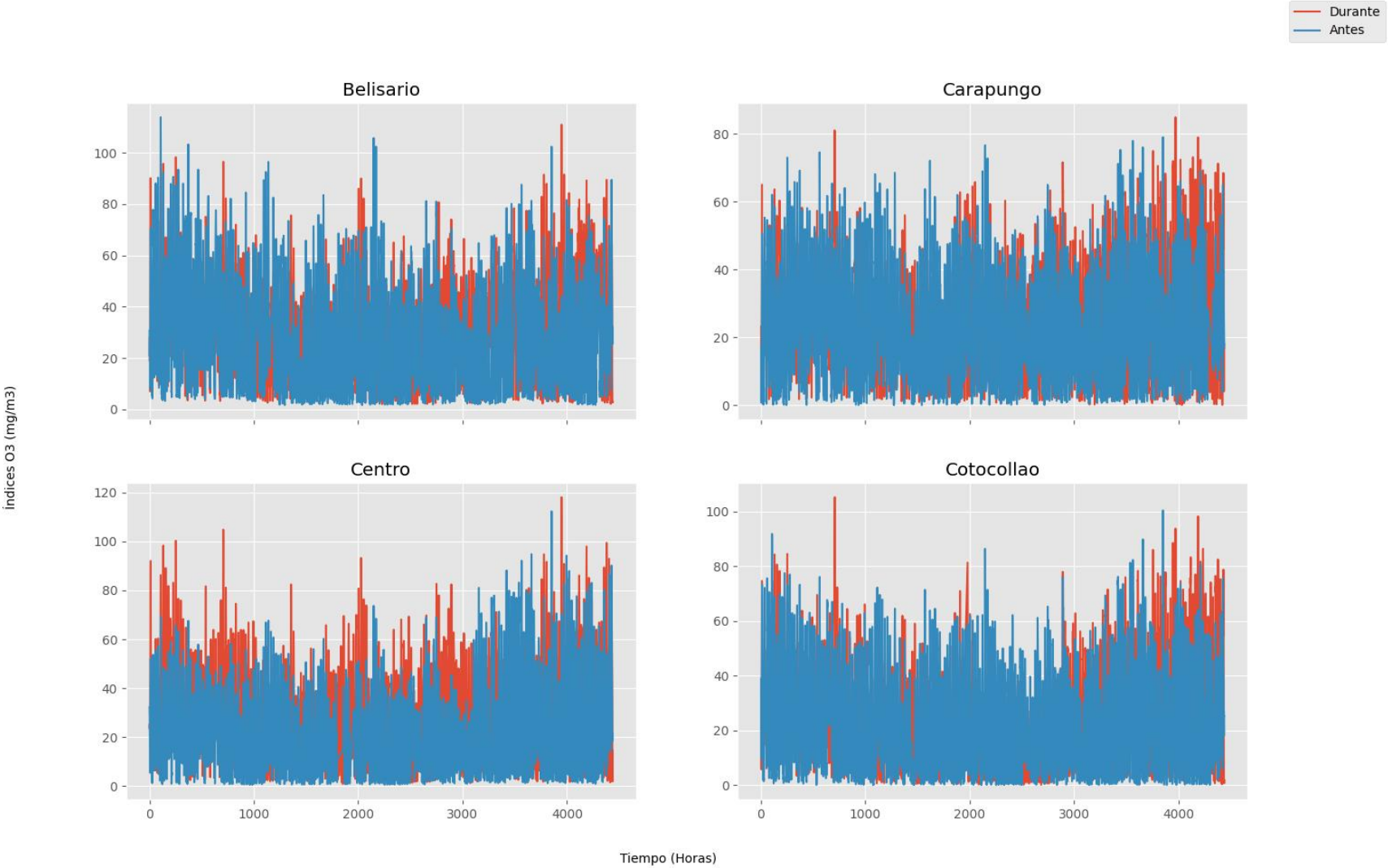
— Durante
— Antes



Durante
Antes

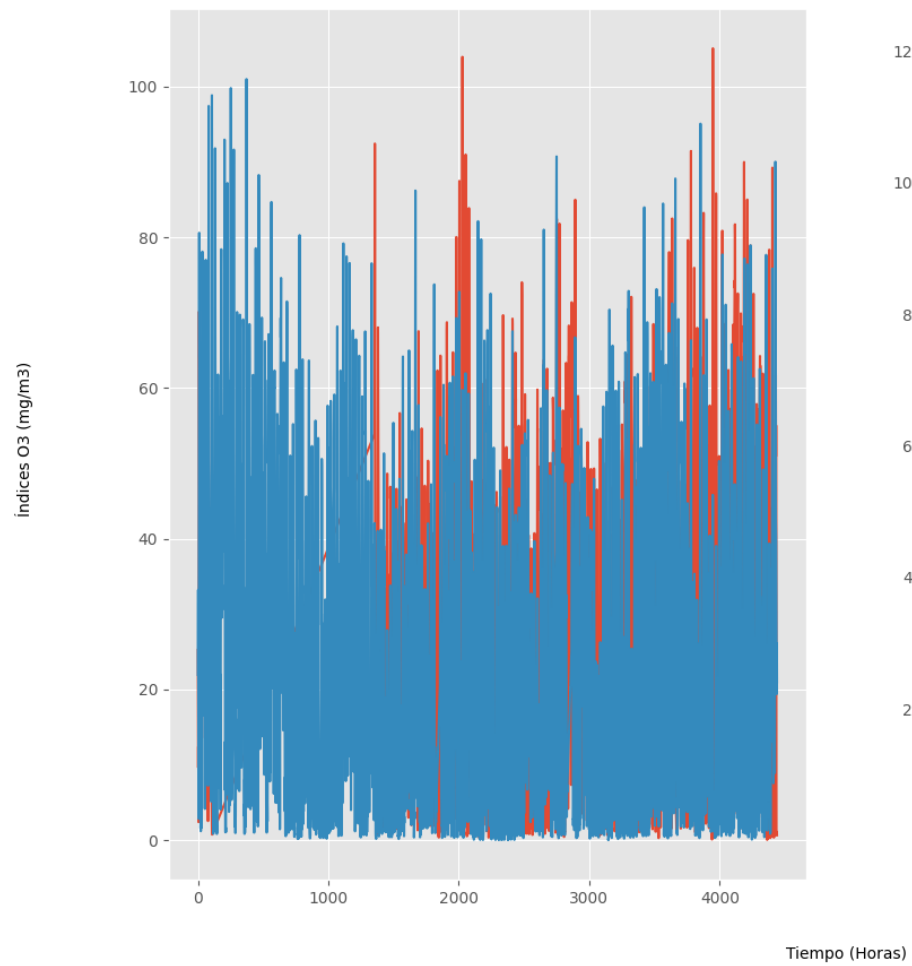


Gráficas de dispersión para representar la contaminación específica del Ozono en las ciudades de Quito durante el periodo establecido:

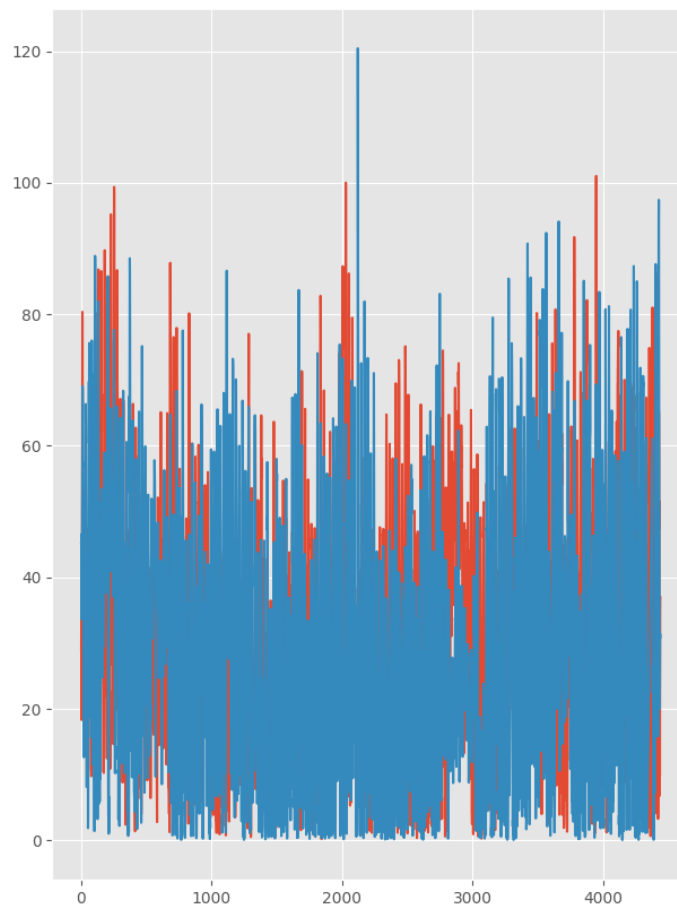


Durante
Antes

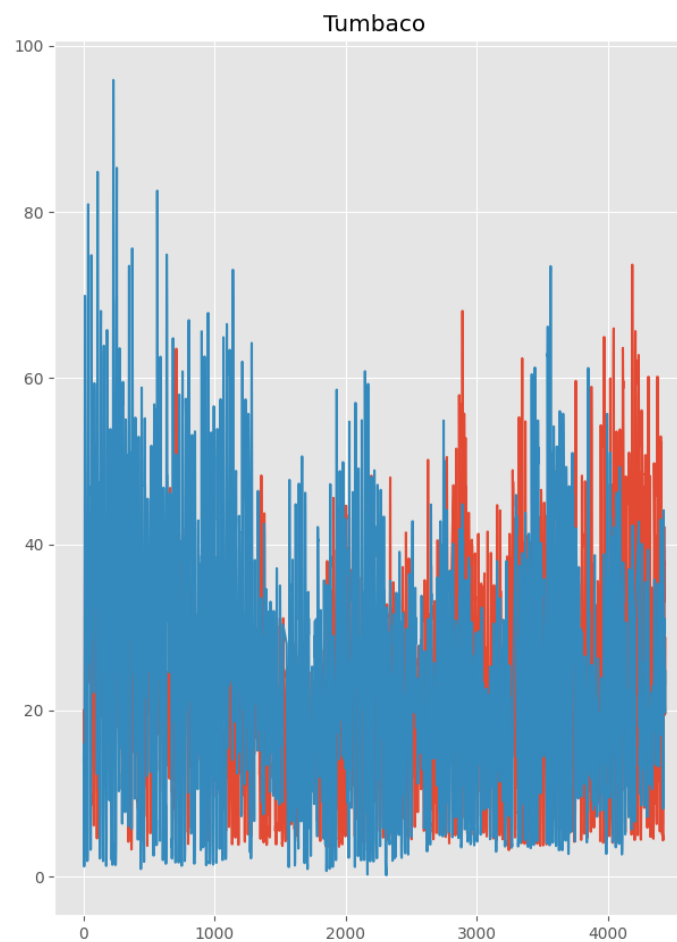
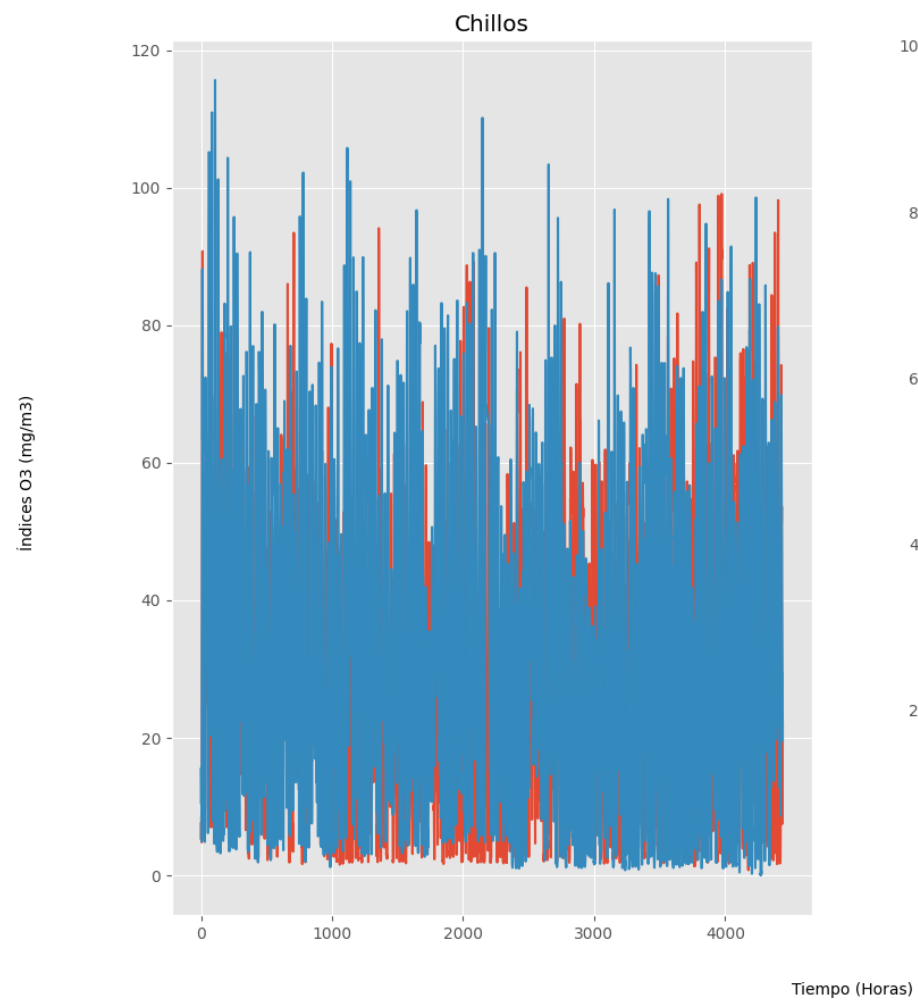
El camal



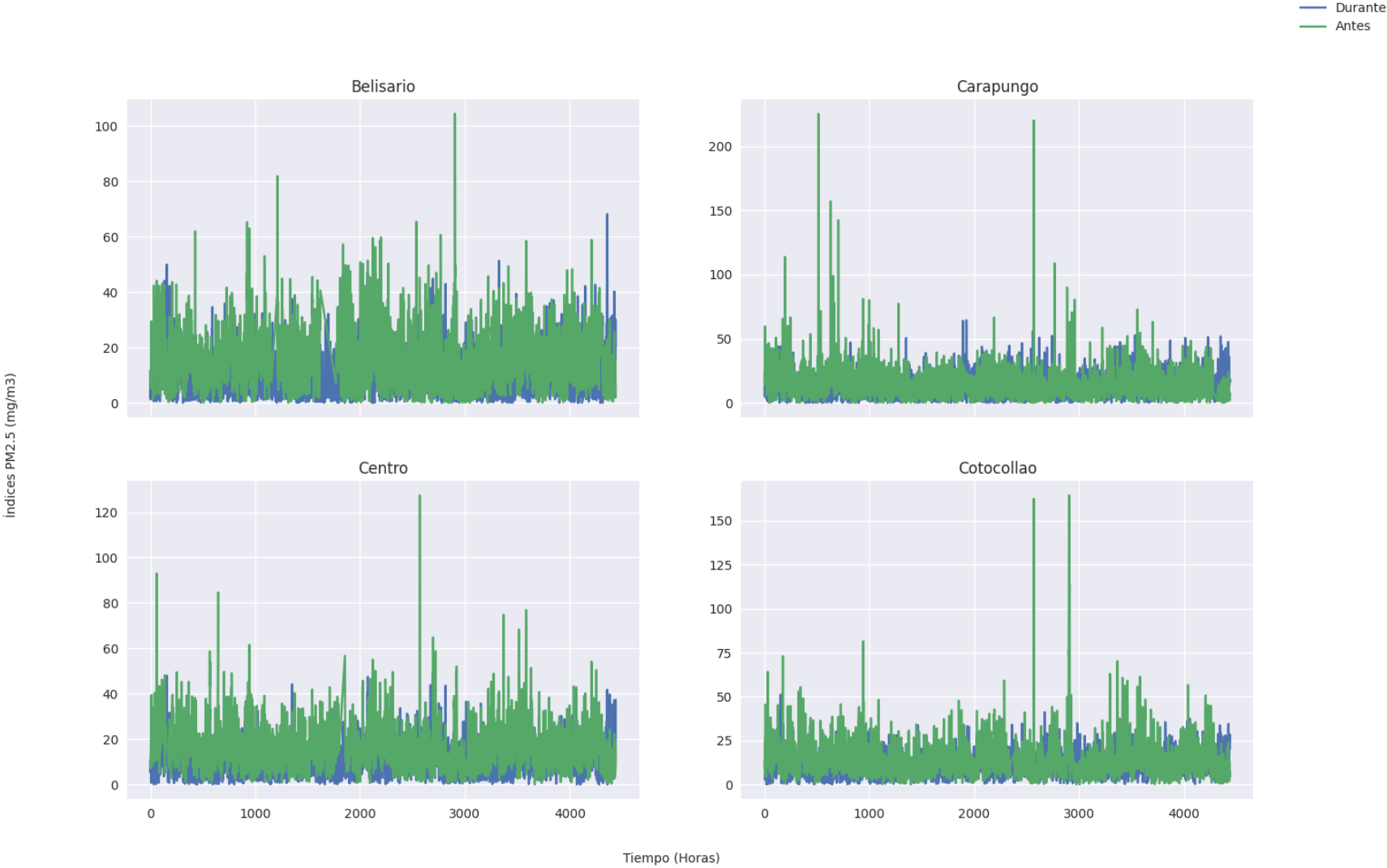
Guamní



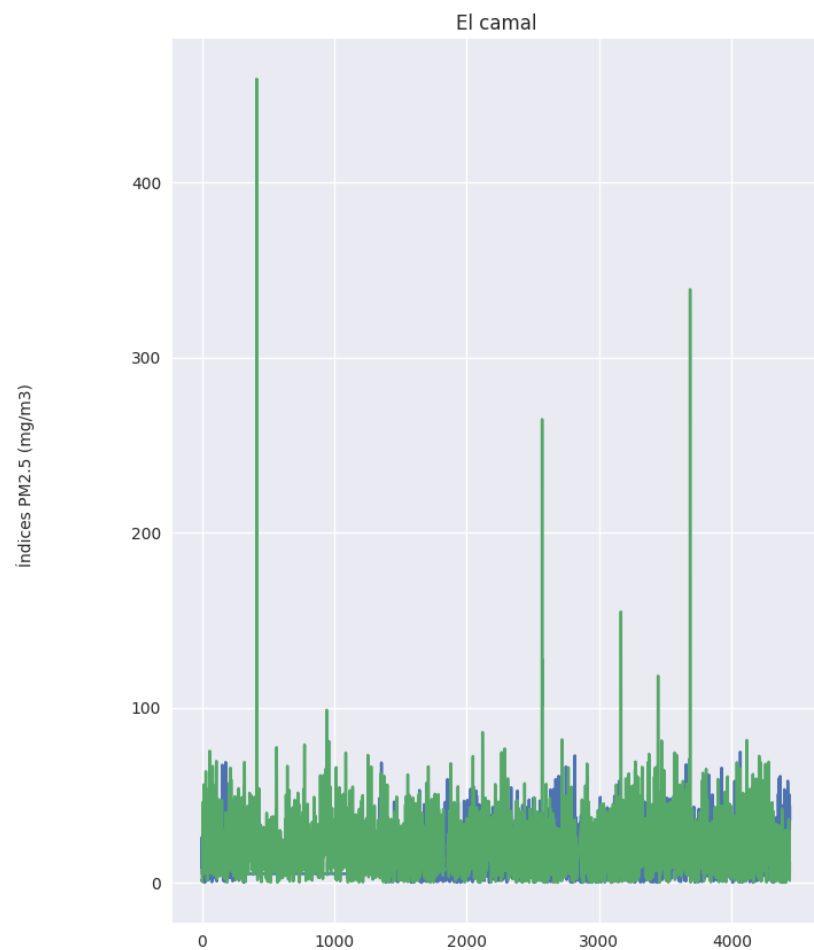
Durante
Antes



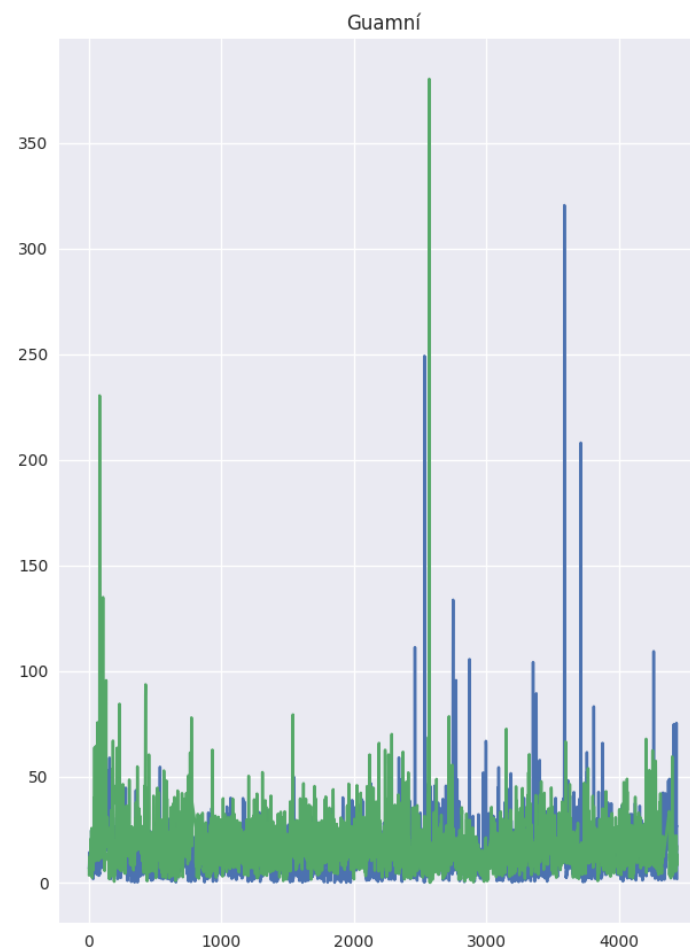
Gráficas de dispersión para representar la contaminación específica del PM 2.5 en las ciudades de Quito durante el periodo establecido:



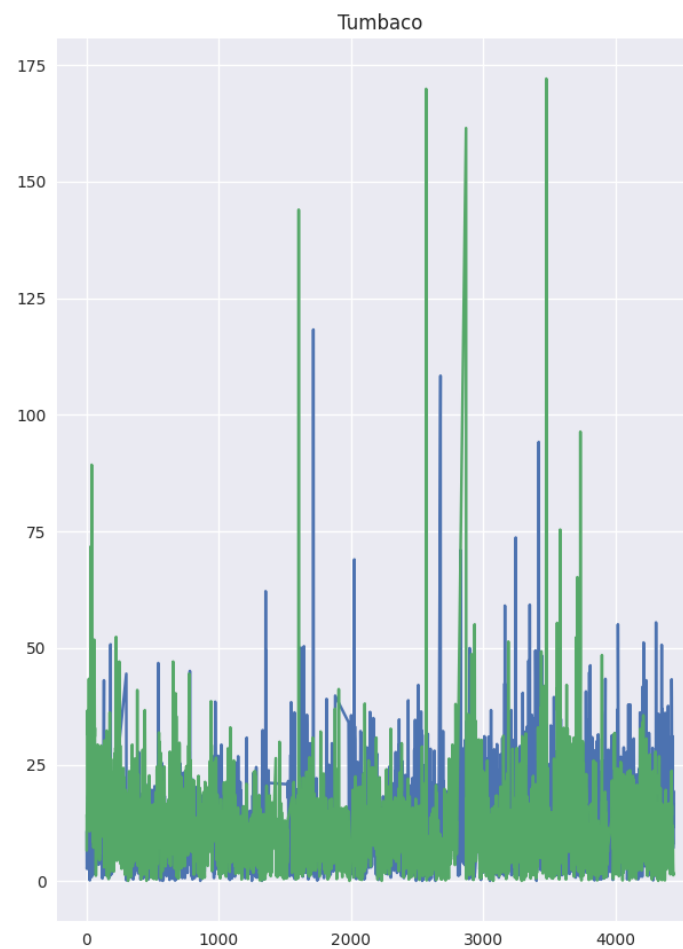
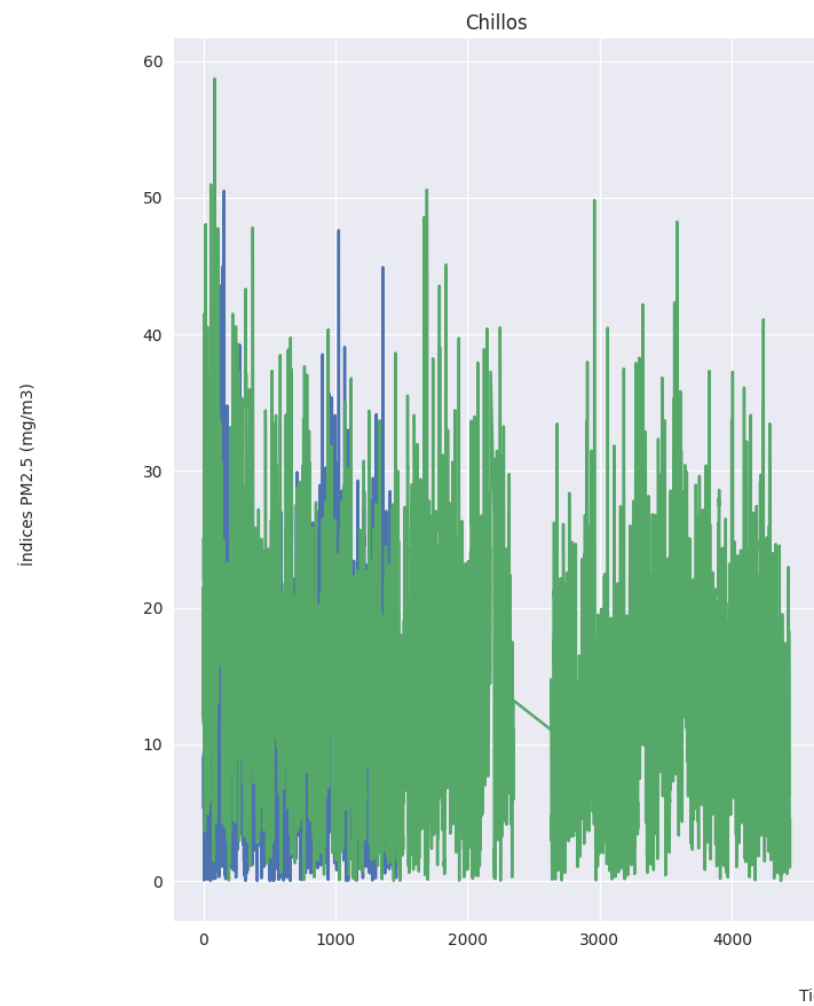
Durante
Antes



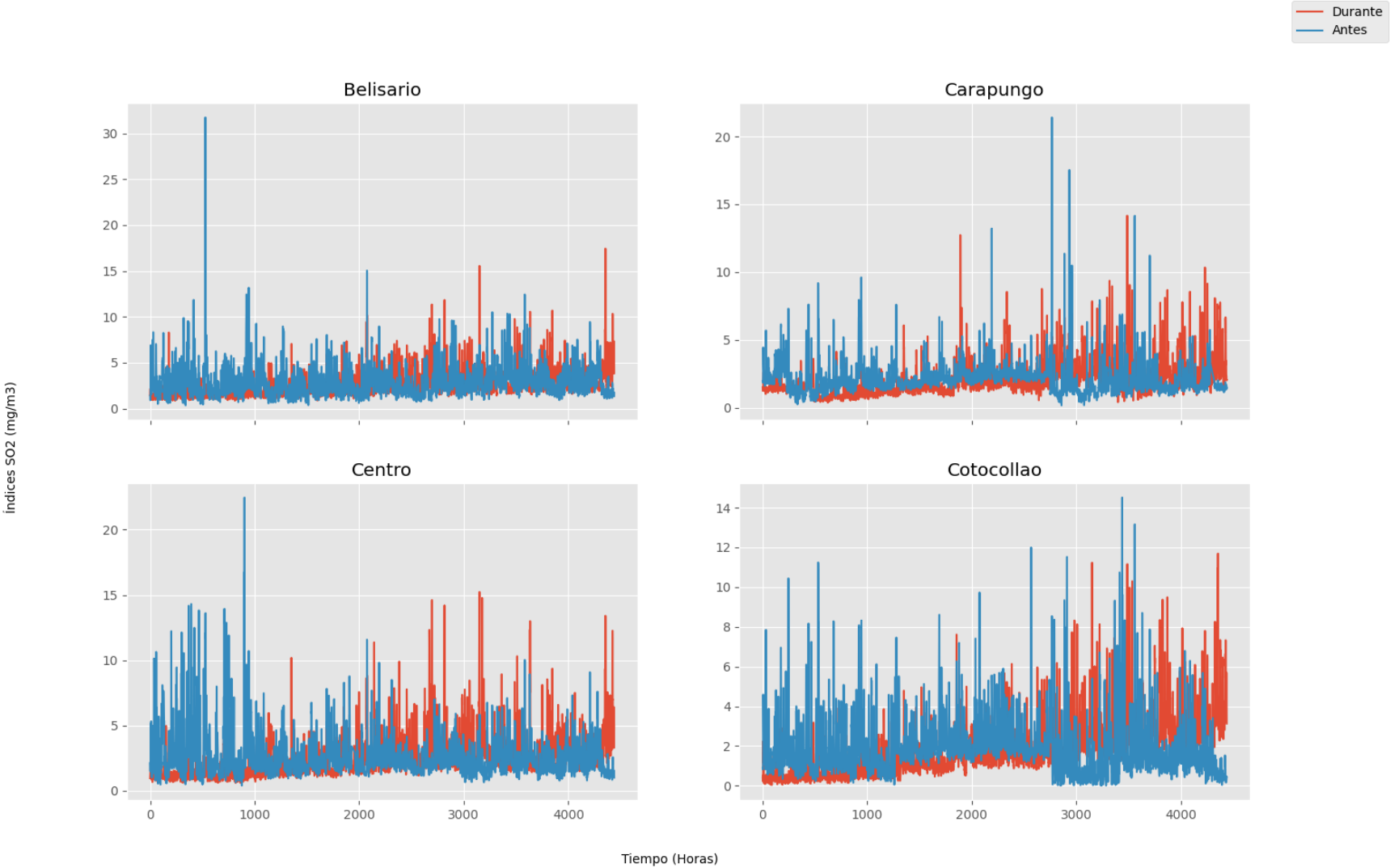
Tiempo (Horas)



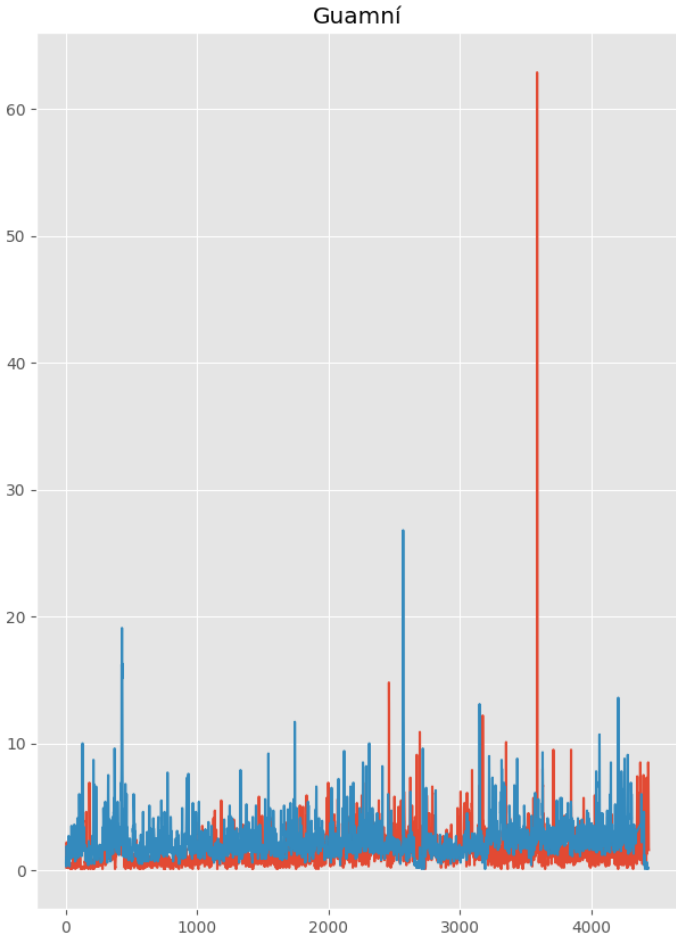
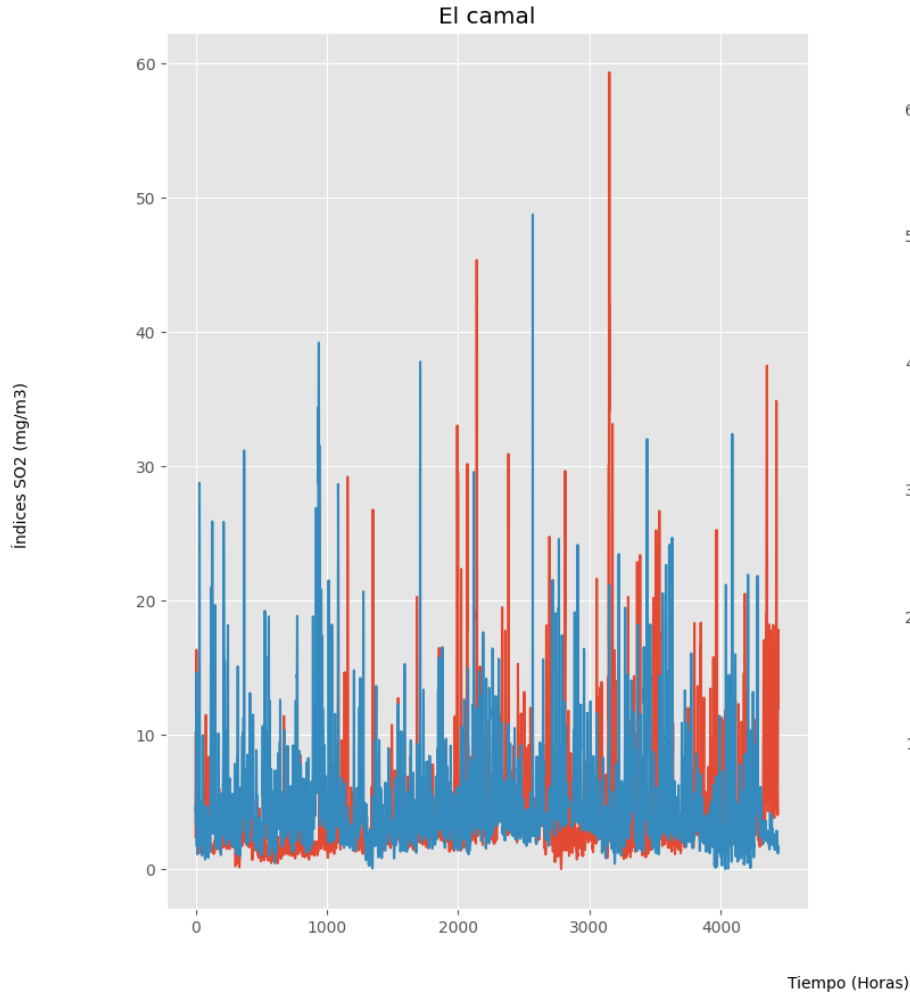
Durante
Antes

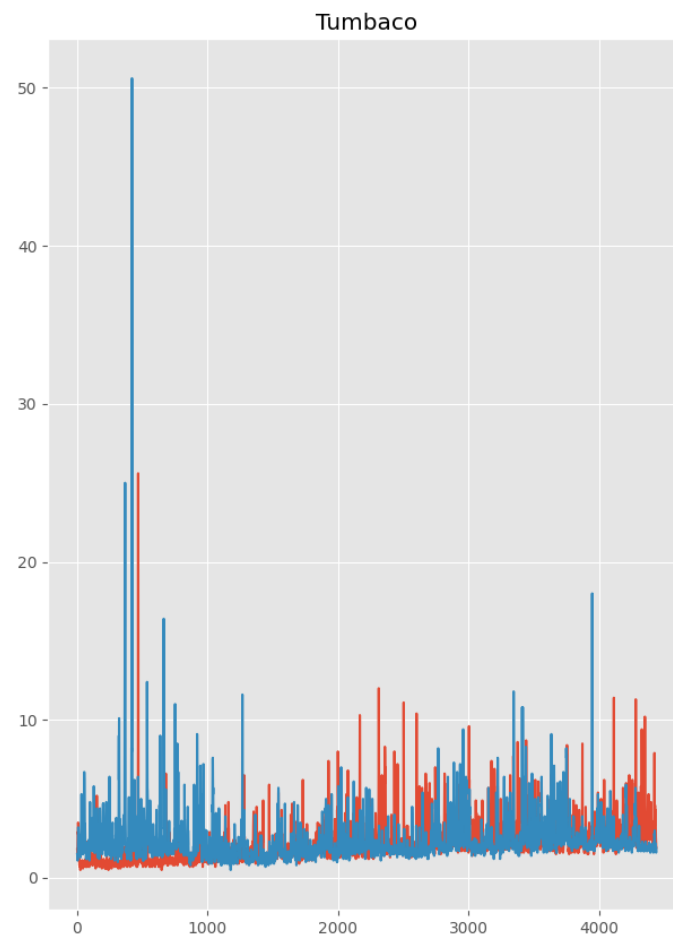
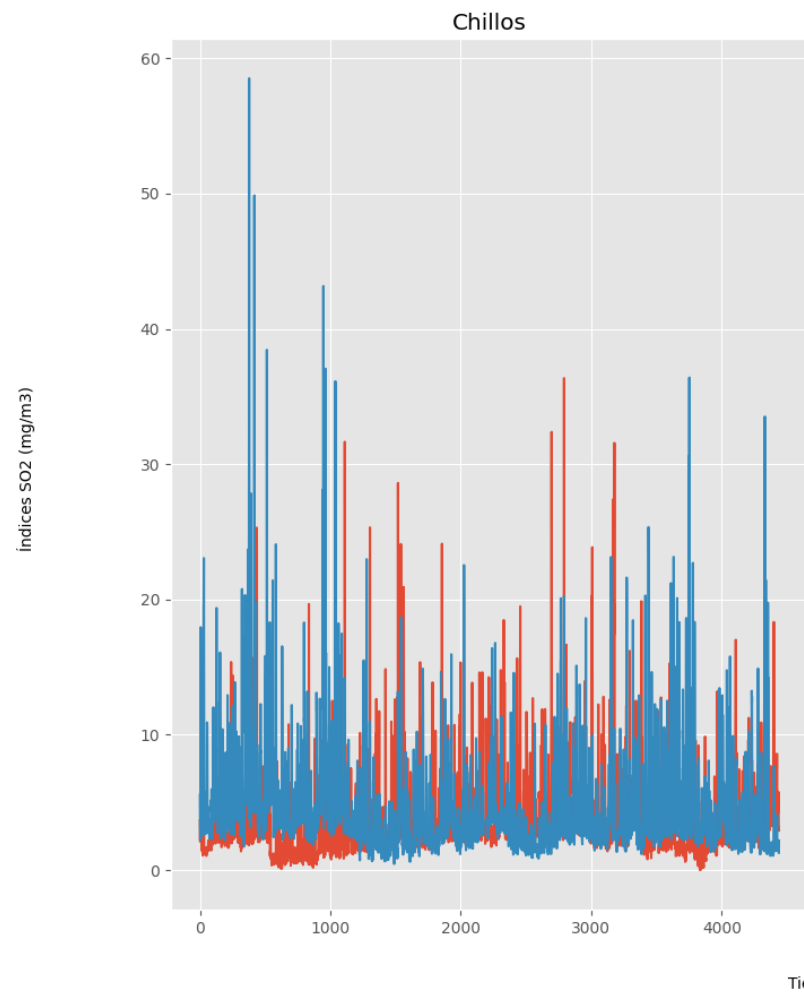


Gráficas de dispersión para representar la contaminación específica del SO2 en las ciudades de Quito durante el periodo establecido:



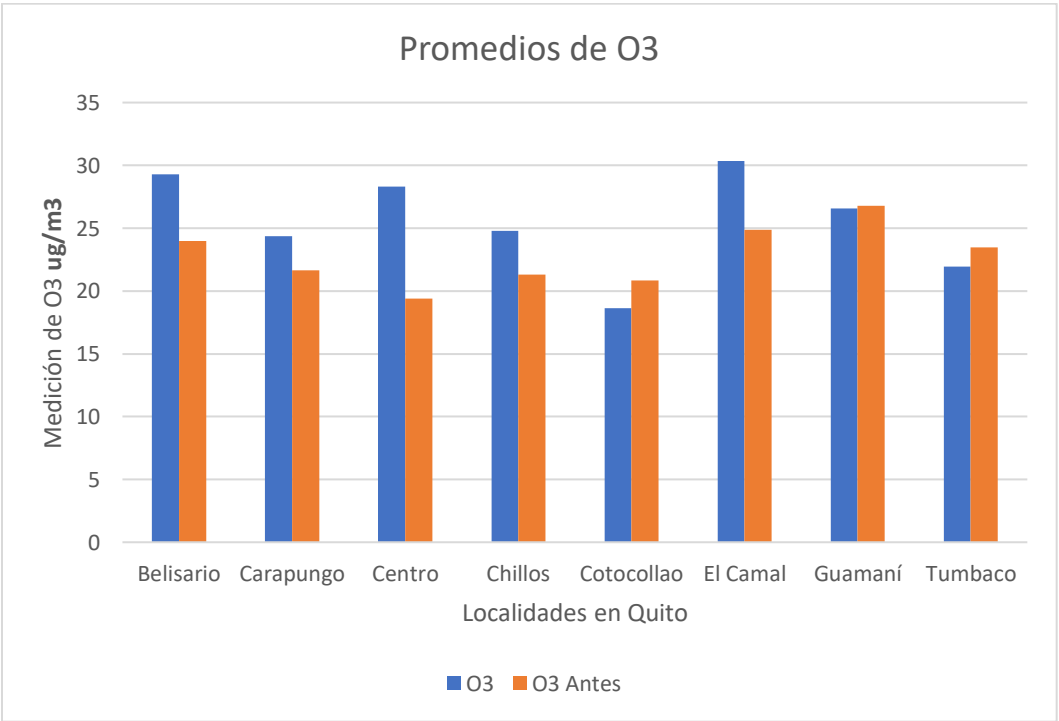
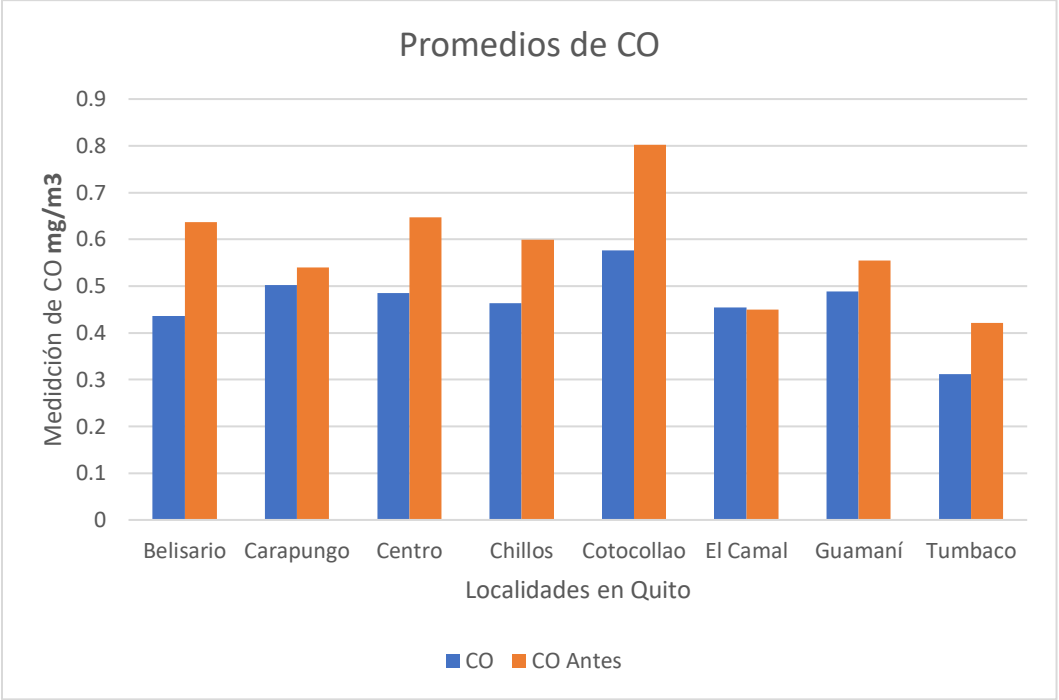
Durante
Antes

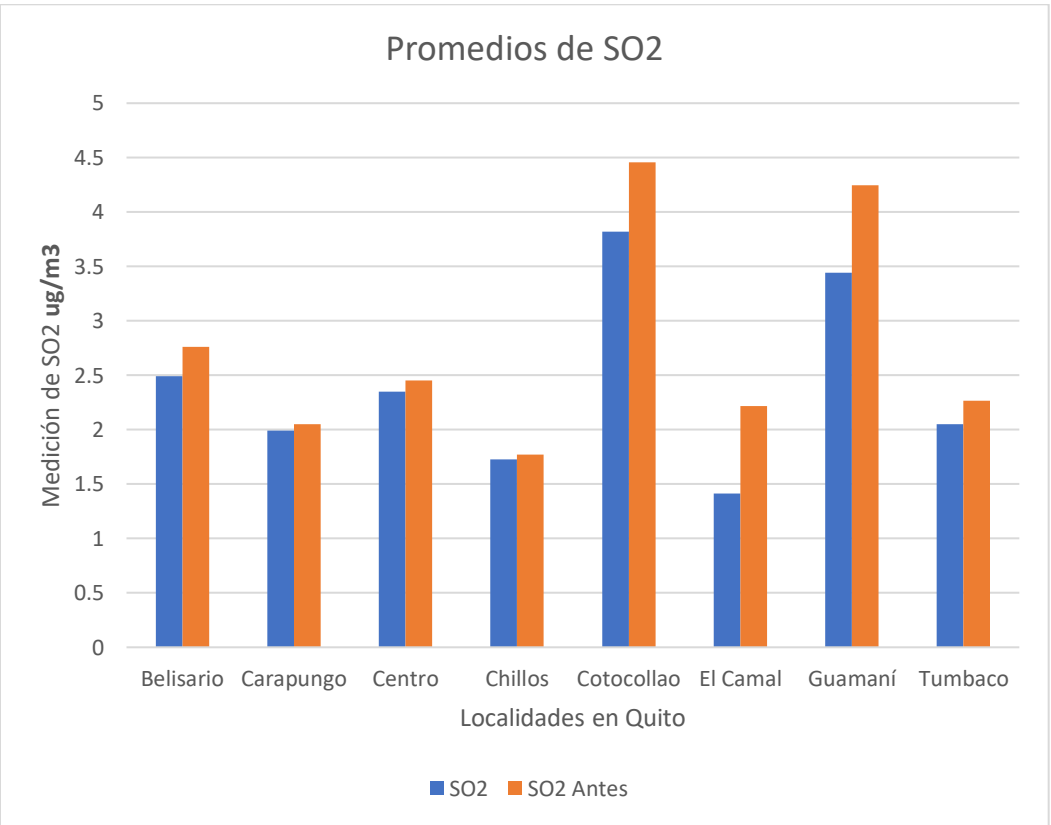
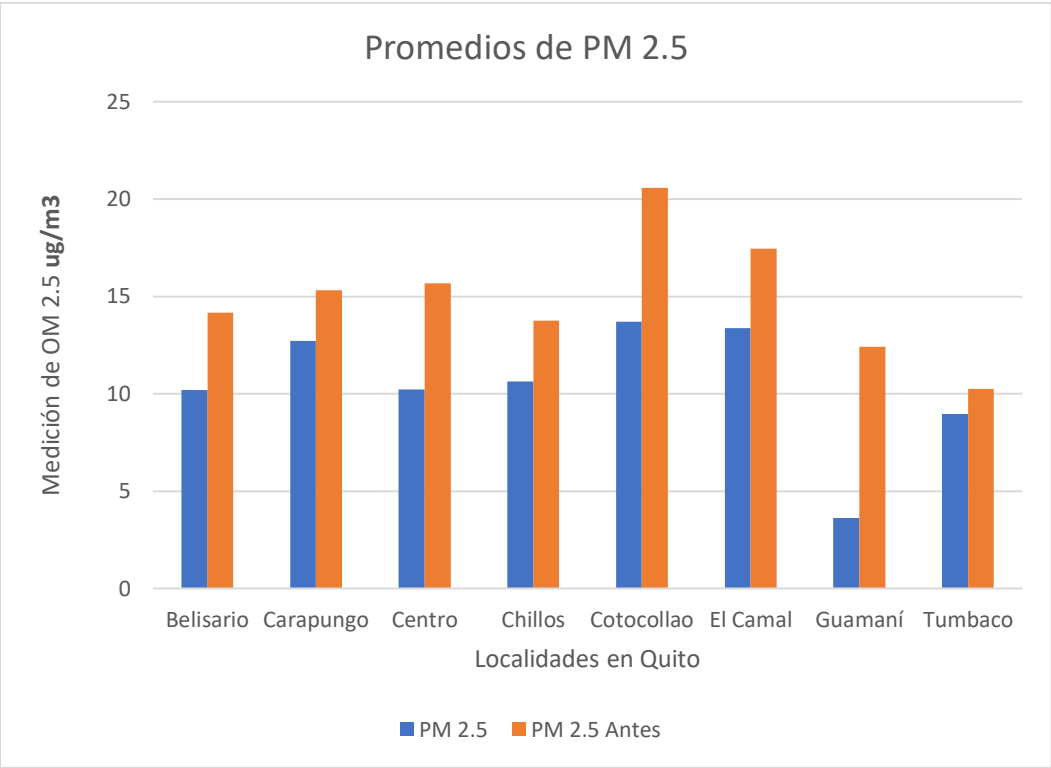




Anexo 6

En este anexo se adjuntan las gráficas de barras para representar los promedios entre sectores de Quito por cada contaminante analizado medidos en mg/m3:





Anexo 7

Gráficos de “temperatura” creados en Python para denotar las diferencias en concentraciones de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por cada localidad y tiempo.

